

Kurt Josef Heilmaier

Spirometrische Lungenfunktionsmessungen
an 1613 gesunden bayerischen Schulkindern
zur Ermittlung von Normwerten
und deren Anwendung
bei verschiedenen Patienten
mit pulmonalen Erkrankungen,
Rauchern und Sportlern

Dass München
1904





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548306_0034

Aus der Kinderklinik der Universität München

im Dr. von Haunerschen Kinderspital

Direktor (kommissarisch): Prof. Dr. O. Goetz

Spirometrische Lungenfunktionsmessungen an 1613
gesunden bayerischen Schulkindern zur Ermittlung
von Normwerten und deren Anwendung bei verschiedenen
Patienten mit pulmonalen Erkrankungen, Rauchern
und Sportlern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin an der Ludwig-Maximilians-Universität
zu München

vorgelegt von

Kurt Josef H e i l m a i e r
aus Inning am Holz

München 1983

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. K. Harms

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. O. Goetz

Dekan: Prof. Dr. med. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 19.01.1984

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. Harms für die Überlassung des Themas, für seine wertvollen Anregungen, die zum Gelingen meiner Dissertation wesentlich beitrugen, für die Durchsicht des Entwurfs der Dissertation, sowie für seine Hilfe und Erfahrung, die er mir zur Verfügung stellte.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. Hölzel vom Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Statistik und Biomathematik der Universität München für seine Hilfe bei der Erstellung des Programms zur statistischen Auswertung der Messungen.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Historisches zur Lungenfunktionsdiagnostik	1
1.2.	Neue Tendenzen - Aufgabenstellung	2
2.	Material und Methodik	4
2.1.	Gerät	4
2.2.	Die Meßgrößen	5
2.2.1.	Vitalkapazität (Vital Capacity - VC)	5
2.2.2.	Forcierte Vitalkapazität (Forced Vital Capacity-FVC)	6
2.2.3.	Forciertes Expirationsvolumen (Forced Expiratory Volume - FEV)	6
2.2.4.	Relative Einsekundenkapazität, bzw. Halbsekundenkapazität	7
2.2.5.	Maximale Expiratorische Flußrate	7
2.2.6.	Atemgrenzwert	7
2.3.	Versuchspersonen	8
2.4.	Versuchsdurchführung	10
3.	Ergebnisse	12
3.1.	Korrelationskoeffizienten	12
3.1.1.	Eigene Ergebnisse	12
3.2.	Normkurven - Normwerte	16
3.2.1.	Normwerte für $FEV_{0,5}/FVC$	19
3.2.2.	Normwerte für $FEV_{1,0}/FVC$	21
3.2.3.	Normkurven nach Größe	23
3.2.4.	Normkurven nach Alter	37
3.2.5.	Normkurven nach Gewicht	50

4.	Diskussion	63
4.1.	Problematik der Lungenfunktionstestung bei Kindern	63
4.2.	Art der Auswertung	64
4.3.	Korrelationskoeffizienten - Vergleich mit anderen Autoren	67
4.4.	Vergleich der Normwerte bzw. Normwert- kurven bezogen auf die Größe mit denen anderer Autoren	72
4.5.	Vergleich der Größen-Normwerte mit den Lungenfunktionsdaten von "Kranken", "Sportlern" und "Rauchern"	85
4.5.1.	Mucoviszidose	90
4.5.2.	Allergische Rhinitis, Asthma bronchiale (symptomfrei)	92
4.5.3.	Frühere Pneumonie	94
4.5.4.	Bronchitis	95
4.5.5.	Raucher	96
4.5.6.	Sportler	97
4.6.	Zur Bedeutung der einzelnen Lungenfunktions- parameter für die Diagnostik	98
4.7.	Der Stellenwert der Spirometrie in der Lungenfunktionsdiagnostik	101
4.8.	Schlußbemerkung	103
5.	Zusammenfassung	104
	Literaturverzeichnis	106

1. Einleitung

1.1 Historisches zur Lungenfunktionsdiagnostik

Mit der ersten großen Untersuchung über die Vitalkapazität durch Hutchinson im Jahre 1846 (67) begann die Ära der spiromographischen Lungenfunktionsmessung in der Medizin.

Es schlossen sich mannigfaltige Untersuchungen der verschiedenen Lungenfunktionsgrößen an. Insbesondere in den letzten 60 Jahren sind zahlreiche Studien zu diesem Themenbereich erschienen.

Während für Erwachsene schon seit geraumer Zeit vielfältige und umfangreiche Untersuchungen vorliegen, wurde der Messung der Lungenfunktion bei Kindern lange Zeit hindurch nur relativ geringe Aufmerksamkeit geschenkt. Zwar bestimmte Wintrich bereits 1854 die Vitalkapazität bei Kindern (21), doch erschienen größere Studien über Lungenfunktionstests bei Kindern erst in den 20er Jahren dieses Jahrhunderts.

Zu nennen sind hier vor allem die Veröffentlichungen von Emerson und Green, Wilson und Edwards, Stewart, Baldwin, sowie aus dem deutschsprachigen Raum die Untersuchungen von Püschel (67). Trotz einer andauernden Forschung auf diesem Gebiet bestand bis vor kurzem ein deutliches Defizit an brauchbaren Normwerten der Lungenfunktion für Kinder und Jugendliche. Die Gründe für dieses Defizit lagen einmal in der Schwierigkeit, gerade mit kleineren Kindern objektive und vergleichbare Messungen durchzuführen, sowie in dem beträchtlichen apparativen Aufwand für die Tests, so daß derartige Untersuchungen in erster Linie speziellen Zentren vorbehalten blieben. Als weiteres Problem bei der Erstellung von Normwerten erwies sich die häufig nur sehr geringe Zahl von Probanden.



Da sich aber gerade in den ersten zwei Lebensjahrzehnten die biologischen Parameter in relativ kurzer Frist zum Teil erheblich verändern, benötigt man eine ausreichend hohe Zahl von Untersuchten, um für jede Alters- bzw. Größenklasse verlässliche Normwerte zu erhalten. Das Fehlen von befriedigenden Normwerten stellt aber einen umso größeren Mangel dar, als gerade im Kindesalter Erkrankungen des respiratorischen Systems eine besonders wichtige Bedeutung zukommt.

1.2. Neue Tendenzen - Aufgabenstellung

Erst die neuere Entwicklung der Medizintechnik in den letzten 15 Jahren ermöglichte die Herstellung von handlichen und leicht bedienbaren Geräten, mit denen eine Lungenfunktionsdiagnostik im größeren Rahmen auch außerhalb von speziell dafür eingerichteten Zentren durchführbar ist. Gemessen werden können dabei die einfachen spirometrischen Größen wie zum Beispiel die Vitalkapazität, die Sekundenkapazität und die Maximale Expiratorische Flußrate. Somit eröffneten diese Geräte ganz neue Möglichkeiten für eine diagnostische und verlaufsbeobachtende Lungenfunktionsprüfung von Patienten mit Erkrankungen des respiratorischen Systems, ohne daß ein übermäßiger personeller oder technischer Aufwand betrieben werden müßte.

Da frühere Normwerte mit anderen Geräten und meist geringen Fallzahlen erstellt wurden, war es für die Interpretation der mit den neuen Geräten gewonnen Meßwerte notwendig, zunächst Normwerte an einem größeren Kollektiv gesunder Probanden zu erstellen.

Im Rahmen einer Studie der v. Haunerschen Universitätskinderklinik München wurden 2110 Kinder und Jugendliche aus München und seiner näheren Umgebung untersucht. Aus den gewonnenen Daten wurden Normwerte der Lungenfunktion ermittelt und diese mit den in früheren Publikationen veröffentlichten Ergebnissen verglichen.

Der zweite Teil der Arbeit beinhaltet eine Gegenüberstellung der Normalwerte mit den Testergebnissen, die für Kinder und Jugendliche mit bestimmten Atemwegserkrankungen gemessen wurden. Außerdem erfolgte ein Vergleich mit den erzielten Lungenfunktionswerten von rauchenden und sportlich besonders aktiven Jugendlichen.

2. Material und Methodik

2.1. Gerät

Für die vorliegende Untersuchung wurde ein elektronischer Spirometer mit Digitalanzeige verwandt, der tragbare Lungenfunktionsanalysator M 403 der Firma SANDOZ-Medizintechnik.

Die Meßwertgewinnung mit diesem Gerät beruht auf einer Flow-Messung mit einem Thermistor, wie er 1967 in den USA von Stresemann entwickelt und erstmals eingesetzt wurde (61). Die Lungenfunktionsgrößen werden durch diesen thermoelektrischen Meßwandler (offenes System) registriert, in einem Volumenintegrator ausgewertet (mittels Kleincomputer) und auf Tastendruck durch Leuchtziffern digital angezeigt. Die einzelnen Testphasen sind durch Zeitgeber (Timer) automatisch begrenzt (61). Vergleichsmessungen des M 403 mit einem herkömmlichen Glockenspirometersystem ergaben durchaus zufriedenstellende Ergebnisse, was die Präzision des neuen elektronischen Spirometers betrifft (54,15). Desgleichen wurden die einfache Bedienung und die schnelle Ergebnisermittlung (digitale Anzeige!) hervorgehoben. Die Belästigung für den Patienten ist zudem geringer als bei bisher zur Verfügung stehenden Geräten, da er an einem kleineren Spirometer atmet und das Gefühl hat, frei atmen zu können.

Im Rahmen einer umfangreichen Studie mit dem M 403 in der Schweiz erwies sich die Tauglichkeit des Lungenfunktionsanalysators im Dauerbetrieb bei Erwachsenen sowie seine Eignung für größere Untersuchungen über die Lungenfunktion (2).

2.2 Die Meßgrößen

Die gemessenen spirometrischen Größen werden im folgenden kurz charakterisiert. Der Übersichtlichkeit und besseren Vergleichbarkeit halber werden in dieser Arbeit für die verschiedenen Lungenfunktionsparameter die im angelsächsischen Schrifttum gebräuchlichen Abkürzungen verwandt (56).

2.2.1. Vitalkapazität (Vital Capacity - VC)

Die Vitalkapazität, 1846 erstmals von Hutchinson bestimmt (39), ist das Luftvolumen, das nach maximaler Inspiration ausgeatmet werden kann, unabhängig von der damit verbundenen Anstrengung oder der expiratorischen Flußrate (39).

Sie umfaßt

das Atemvolumen (= Atemzugsvolumen= Tidal Volume: Luftmenge, die bei jeder Inspiration eingeatmet wird, bzw. bei jeder Expiration wieder ausgeatmet wird),

das inspiratorische Reservevolumen (IRV: Luftvolumen, das mit maximaler Inspiration über das Atemvolumen hinaus noch eingeatmet werden kann),

sowie das expiratorische Reservevolumen (ERV: Luftvolumen, das durch aktive Expiration nach der passiven Expiration noch ausgeatmet werden kann).

Zusammen mit dem Residualvolumen (RV: Luftvolumen, das nach maximaler Expiration noch im Respirationstrakt verbleibt) bildet die Vitalkapazität die sog. Totalkapazität der Lunge (Volumen, das in Atemwegen und Lungen in maximaler willkürlicher Inspirationsstellung enthalten ist) (31).

Die Vitalkapazität ist unter anderem abhängig von der Dehnbarkeit der Lunge (Compliance), der Beschaffenheit des Thorax und vom Residualvolumen. Sie stellt die am längsten gebräuchliche und am weitesten verbreitete Lungenfunktionsgröße dar. Ohne Kombination mit anderen Größen hat sie aber nur geringe Aussagekraft (44).

Im Rahmen dieser Studie erfolgte die Messung der expiratorisch bestimmbaren Vitalkapazität.

2.2.2. Forcierte Vitalkapazität (Forced Vital Capacity-FVC)

Im Gegensatz zur VC beinhaltet die FVC das Fassungsvermögen der Lunge in Abhängigkeit von Anstrengung und Expirationwert: Die Forcierte Vitalkapazität ist jenes Volumen, das nach maximaler Inspiration ausgeatmet werden kann, wobei die Expiration so schnell und so vollständig wie möglich sein muß (69).

Somit spielen die mechanischen Eigenschaften des Lungengewebes für diese Größe eine besondere Rolle. Die FVC hat gerade im neueren Schrifttum an Bedeutung gewonnen. Bei Gesunden stimmt sie allerdings in etwa mit der Vitalkapazität überein.

2.2.3. Forciertes Expirationsvolumen (Forced Expiratory Volume - FEV)

Weitere Möglichkeiten zur Diagnostik bei Ventilationsstörungen bietet das Forcierte Expirationsvolumen (=Atemstoßwert), das Volumen, das der Patient bei höchstmöglicher Anstrengung in einer bestimmten Zeit ausatmen kann (69).

Die gebräuchlichste Messung ist die Bestimmung des FEV in der 1. Sekunde der Expiration (= Tiffeneau-Test), doch gibt es auch Messungen des ausgeatmeten Volumens in den ersten 3 Sekunden, in 0,25, 0,5, 0,75 Sekunden, etc.

In der vorliegenden Untersuchung wurde bei einem Teil der Kinder und Jugendlichen neben dem Einsekundenwert ($FEV_{1,0}$) noch zusätzlich der Halbsekundenwert ($FEV_{0,5}$) bestimmt. Eine Verminderung des FEV findet sich vor allem bei obstruktiven Lungenerkrankungen.

2.2.4. Relative Einsekundenkapazität, bzw. Halbsekundenkapazität (Forced Expiratory Volume in 1 sec respectively in 0,5 sec in percentage of Forced Vital Capacity $FEV_{1,0}/FVC$, $FEV_{0,5}/FVC$)

Bezieht man das Forcierte Expirationsvolumen in der ersten Sekunde bzw. in der ersten halben Sekunde auf die FVC, so ergibt sich die Relative Einsekundenkapazität (Halbsekundenkapazität) in %, die eine exaktere Differenzierung ermöglicht (52).

Die Relative Sekundenkapazität ist deutlich erniedrigt bei obstruktiven Ventilationsstörungen, während sie bei restriktiven Lungenerkrankungen im Normbereich liegen kann (bei eingeschränkter FVC und $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$) (69,17.)

2.2.5. Maximale Expiratorische Flußrate (Peak Expiratory Flow Rate - PEFR)

Die PEFR beinhaltet die maximale Ausatemungsgeschwindigkeit in l/min während einer forcierten Expiration. Ihre Bestimmung war bis vor wenigen Jahren nur mit verhältnismäßig komplizierten und teuren Geräten (z.B. Pneumotachometer) möglich (69). Diese Meßgröße bietet wertvolle Hinweise zur Beurteilung der Atemstromstärke, des Atemstromwiderstandes und der elastischen Eigenschaften des Lungengewebes. Sie gilt auch als indirektes Maß für bronchiale Obstruktion (3).

2.2.6. Atemgrenzwert (Maximal Voluntary Ventilation - MVV)

Der Atemgrenzwert, von Hermannsen erstmals definiert, ist das maximale Luftvolumen, das der Proband bei größtmöglicher Anstrengung pro Zeiteinheit (1 min) ein- und ausatmen kann (69). Seine Einführung erfolgte mit dem Ziel, ein Maß für die ventilatorische Reserve der Lunge zu erhalten, es handelt sich dabei um eine theoretische Größe (69). Allerdings blieb sein Wert umstritten.

Da eine willkürliche Hyperventilation über eine Minute hinweg kaum durchführbar ist, beschränkt man sich auf einen kürzeren Zeitraum (beim M 403: 12 sec), in dem die Versuchsperson aufgefordert wird, so schnell und so tief wie möglich ein- und auszuatmen (37). Der dabei erzielte Wert wird vom Lungenfunktionsanalysator automatisch auf eine Minute umgerechnet.

Der Test gibt Auskunft über die Gesamtmechanik der Atmung, hängt also auch von nicht-pulmonalen Bedingungen ab (Leistungsfähigkeit des neuromuskulären Atemapparats, Erschöpfung, Antrieb, Kooperationsbereitschaft des Probanden.) Dies bedingt eine (im Vergleich zu den anderen Meßgrößen) relativ breite Streuung der Werte.

2.3 Versuchspersonen

Insgesamt wurden 2110 Kinder und Jugendliche getestet. Mit Ausnahme von 38 Patienten, die an Mucoviszidose erkrankt waren und an der Universitätskinderklinik betreut wurden, handelte es sich bei den Untersuchten um Schüler von Grund-, Haupt- und Realschulen, sowie Gymnasien in München und der näheren Umgebung. Die Messungen erfolgten hierbei an den jeweiligen Schulen, meist im Rahmen des Turnunterrichts.

Von allen Untersuchten wurden die wichtigsten persönlichen Daten durch Befragung und Messung ermittelt (Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht.)

Die Testpersonen umfaßten eine Altersgruppe von 5 - 20 Jahren, die Spannweite bezogen auf die Größe betrug 115 - 195 cm,
bezogen auf das Gewicht 15 - 99 kg.

Desgleichen wurden die Probanden in verschiedene Gruppen zusammengefaßt, in Anlehnung an gebräuchliche Einteilungen, wie sie in der Literatur beschrieben wurden (39).

Entsprechend ergab sich folgende Kategorisierung:

	gesamt	männl.	weibl.
A) "Gesund" bzw. "Normal"	1613	647	966
B) "Krank"	421	197	224
1) Mucoviszidose	38	17	21
2) Allergische Rhinitis, Asthma bronchiale (anfallsfrei)	11	8	3
3) frühere Lungenentzündung	70	35	35
4) z.Zt. Bronchitis	180	82	98
5) sonstige Erkrankungen	122	55	67
C) "Sportlich"	45	35	10
D) "Raucher"	55	27	28
1) bis 15 Zigaretten / die	25	5	20
2) mehr als 15 Zigaretten / die	30	22	8

Die Eingruppierung stützte sich auf die eigenen Angaben der Befragten, abgesehen von den an Mukoviszidose erkrankten Kindern, bei denen die Diagnose ja bereits feststand. Als "Gesund" bzw. "Normal" eingestuft wurden Versuchspersonen, die in der Anamnese keine Lungenerkrankung aufwiesen und auch nicht an einer akuten Erkrankung des respiratorischen Systems litten (65). Nicht in die Kategorie "Gesund" eingeordnet wurden Probanden, die im Laufe ihres Lebens bereits einmal eine Pneumonie durchgemacht hatten oder zum Zeitpunkt der Untersuchungen an anderen nicht-pulmonalen Erkrankungen litten, auch wenn diese keinen unmittelbaren Einfluß auf die Lungenfunktion vermuten ließen.

Für die Kategorie B 3 bis B 5 einerseits sowie C und D andererseits war auch die Benennung von maximal zwei Merkmalen pro Versuchsperson möglich, ebenso für die Merkmale C und D untereinander (frühere Lungenentzündung und Sportler, Bronchitis und Raucher, Bronchitis und Sportler, frühere Lungenentzündung und Raucher, Raucher und Sportler etc.)

Somit ergab sich bei der Summation der Fallzahlen eine geringfügig höhere Gesamtzahl (2134) als tatsächlich Personen untersucht wurden.

Als "Sportlich" eingereicht wurden überwiegend Schüler des Leistungskurses Sport der reformierten Oberstufe von Gymnasien sowie einige wenige Jugendliche, die - vor allem in Bezug auf regelmäßiges körperliches Training (z.B. in Leichtathletikvereinen) - die sportlichen Aktivitäten ihrer Altersgenossen deutlich übertrafen.

Die Gruppe der "Raucher" faßte man entsprechend dem Ausmaß ihres durchschnittlichen täglichen Nikotinkonsums noch einmal in zwei etwa gleich große Teilgruppen zusammen (D 1 : bis 15 Zigaretten täglich; D 2 : mehr als 15 Zigaretten täglich.)

2.4 Versuchsdurchführung

Nach dem Erfassen der Daten und der Eingruppierung der Testpersonen erfolgte eine kurze Erläuterung über Sinn und Bedeutung der Lungenfunktionsprüfung. Danach wurde jedem Probanden der Ablauf der Untersuchung erklärt. An diese Einweisung schlossen sich mehrere "Übungstests" (mindestens zwei) an, wie sie von der Herstellerfirma empfohlen wurden. Die eigentliche Messung bestand aus drei Durchgängen, die jeweils mindestens dreimal absolviert wurden.

Zunächst mußten die Versuchspersonen nach maximaler Inspiration langsam und möglichst vollständig ausatmen (Messung von VC.) Dann folgte, ebenfalls nach maximaler Inspiration, eine so schnell und so kräftig wie möglich ausgeführte Expiration (Messung von FVC, $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$ und PEF_R.)

Im letzten Teil mußte der Untersuchte so schnell und so tief wie möglich 12 Sekunden lang ein- und ausatmen (Messung des MVV.) Dieser anstrengendste Abschnitt des Tests wurde stets zum Schluß der Lungenfunktionsprüfung durchgeführt. In einem geringen Prozentsatz der Fälle war es hierbei nicht möglich, mindestens drei Versuche zu absolvieren.

Die Durchführung der Lungenfunktionsprüfung entsprach weitestgehend den Empfehlungen, die in jüngerer Zeit für Lungenfunktionsuntersuchungen bei Kindern veröffentlicht wurden (z.B. auf einer Konferenz der amerikanischen Cystic Fibrosis Foundation) (65,1).

Die Kinder absolvierten den Test im Stehen. Nicht berücksichtigt wurden die Ergebnisse von unkooperativen Versuchspersonen, sowie von solchen, bei denen es nicht gelang, die Durchführung des Tests ausreichend verständlich zu machen.

Das jeweils beste Ergebnis für jeden Lungenfunktionsparameter wurde für die Auswertung herangezogen.

3. Ergebnisse

3.1. Korrelationskoeffizienten

3.1.1. Eigene Ergebnisse

Alle gemessenen Werte der jeweiligen anthropometrischen (Alter, Größe, Gewicht) und Lungenfunktionsgrößen (VC, FVC, $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$, PEFR, MVV, $FEV_{0,5}/FVC$, $FEV_{1,0}/FVC$) der gesunden (normalen) Untersuchten wurden zueinander in Beziehung gesetzt und daraus der sog. Korrelationskoeffizient ermittelt. Die gewonnenen Ergebnisse sind, nach Geschlechtern aufgeschlüsselt, in Tabelle 1 dargestellt.

Schon im Überblick zeigt sich, daß sich für alle betrachteten spirometrischen Parameter mit Ausnahme der relativen Halbsekunden- bzw. Ein-Sekundenkapazität enge, zum Teil sogar sehr enge positive Korrelationen zu Alter, Größe und Gewicht ergeben. Am straffsten verknüpft mit letzteren erscheinen die Vitalkapazität (VC), das Forcierte Expirationsvolumen in der ersten Sekunde ($FEV_{1,0}$) und die Forcierte Vitalkapazität (FVC). In geringerem Umfang trifft dies auch noch auf das Forcierte Expirationsvolumen in der ersten halben Sekunde ($FEV_{0,5}$) und die Maximale Expiratorische Flußrate (PEFR) zu, während die Zahlen für den Atemgrenzwert (MVV) deutlich niedriger liegen (besonders bei den Mädchen: 0,68; 0,67; 0,72). Ein engerer Zusammenhang der Relativen Halbsekunden- und Ein-Sekundenkapazität mit den anderen Meßgrößen ist dagegen auszuschließen. $FEV_{0,5}/FVC$ und $FEV_{1,0}/FVC$ korrelieren auch untereinander in sehr viel geringerem Umfang als die anderen Lungenfunktionsgrößen (+ 0,56 bei Buben, + 0,49 bei Mädchen.) Allerdings läßt sich angesichts des negativen Vorzeichens der Korrelationskoeffizienten für $FEV_{0,5}/FVC$ eine leichte Abnahme der Werte mit zunehmendem Alter, Gewicht und zunehmender Größe erwarten. Bei der Ein-Sekundenkapazität trifft dies nur noch für das männliche Geschlecht zu.

Errechnet man die Korrelationskoeffizienten, die sich für die einzelnen Lungenfunktionsgrößen untereinander ergeben, so gelangt man zu sehr hohen Werten. Ein sehr enger Zusammenhang besteht dabei erwartungsgemäß zwischen VC und FVC (0,98 bzw. 0,95), ebenso auch zwischen VC und $FEV_{1,0}$ bzw. zwischen FVC und $FEV_{1,0}$ (0,97; 0,95 bzw. 0,98; 0,95.)

Dagegen fallen die Korrelationen von $FEV_{0,5}$ mit VC oder FVC deutlich niedriger aus als die entsprechenden Werte für $FEV_{1,0}$ (0,94; 0,88 bzw. 0,95; 0,89.)

Die höchsten Korrelationskoeffizienten für PEFR und MVV finden sich interessanterweise im Zusammenhang mit dem $FEV_{0,5}$ (0,94; 0,88 bzw. 0,87; 0,75.)

Besonders auffallend sind die durchgehend unterschiedlichen Werte für die beiden Geschlechter. Die von den Buben erhaltenen Korrelationskoeffizienten liegen stets höher als die der Mädchen, wenn man von der Relativen Halbsekunden- bzw. Ein-Sekundenkapazität absieht. Weiterhin erwähnenswert ist, daß die Unterschiede bei den Korrelationen der spirometrisch bestimmten Parameter mit Alter, Größe und Gewicht stärker ausgeprägt sind (Durchschnittsdifferenz der KK der sechs spirometrischen Größen VC, FVC, $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$, PEFR und MVV: 0,10), als bei den Korrelationskoeffizienten, die den Zusammenhang der anthropometrischen Größen untereinander beschreiben (durchschnittlicher Unterschied 0,05).

Am größten ist die Differenz beim Atemgrenzwert (durchschnittliche Differenz 0,13), also jenem Parameter, bei dem Motivation und Mitarbeit der Versuchspersonen von besonderer Bedeutung sind.

Von besonderem Interesse war die Frage, welche der drei Vergleichsgrößen Alter, Größe und Gewicht den engsten Zusammenhang mit den Lungenfunktionswerten aufweist.

Die tabellarische Übersicht zeigt (von $FEV_{0,5}/FVC$ und $FEV_{1,0}/FVC$ wiederum abgesehen), daß die Korrelationszahlen für die Größe durchwegs höher liegen als für das Alter und das Gewicht (bei den Buben 0,83 - 0,92; bei den Mädchen 0,67 - 0,85.) Lediglich für die Korrelation von Größe und Atemgrenzwert (MVV) bei Mädchen ergibt sich ein niedriger Wert (0,67) als für den Zusammenhang von Alter und MVV, bzw. Gewicht und MVV (0,68 bzw. 0,72.)

Zur Verdeutlichung seien die Durchschnittswerte für VC, FVC, $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$, PEFR und MVV im Verhältnis zu Alter, Größe und Gewicht nach Geschlechtern getrennt extra aufgeführt.

Tabelle 2

	Alter	Größe	Gewicht
Buben	0,87	0,89	0,88
Mädchen	0,77	0,80	0,78

In diesem Vergleich zeigt sich, daß die Korrelation der Lungenfunktionsgrößen mit der Körpergröße am engsten ist, wenn auch die Unterschiede im Hinblick auf Gewicht und Alter als Vergleichsmaßstab nicht allzu gravierend ausfallen.

3.2. Normkurven - Normwerte

Aus den Werten der 1613 gesunden ("normalen") Untersuchten wurden die jeweiligen Normalwerte für Buben bzw. Mädchen, bezogen auf Größe, Alter und Gewicht, errechnet. Die erhaltenen Ergebnisse für VC, FVC, $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$, PEFR und MVV sind in Form von Normkurven graphisch dargestellt, wobei in der Art der Darstellung eine weitgehende Anlehnung an die bekannten Wachstumskurven von Tanner (64) bzw. an die Lungenfunktionskurven von Polgar (56) angestrebt wurde.

Im Unterschied zu vielen anderen Lungenfunktionsstudien, die häufig mit Mittelwert und Standardabweichung arbeiten, bevorzugten wir die Beschreibung der Norm mittels Perzentilen, die nach unserer Ansicht eine bessere Aussagekraft und einen größeren Informationswert besitzen als herkömmliche Darstellungsformen.

Die Errechnung der Zahlen erfolgte durch elektronische Datenverarbeitung mit freundlicher Unterstützung durch Dr. Hölzel vom Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Statistik und Biomathematik der Universität München (ISB.) Bestimmt wurden die 10%, 25%, 50%, 75% und 90% Perzentile. Die 50% Perzentile, die dem geometrischen Mittelwert (Median) entspricht (68) wurde dabei in der Darstellung besonders hervorgehoben.

Zur Errechnung der Perzentilwerte mußten die Testpersonen nach Geschlechtern getrennt in verschiedene Größen-, Alters- und Gewichtsgruppen eingeteilt werden: Eine Größengruppe umfaßte dabei jeweils eine Spannweite von 10 cm, eine Gewichtsgruppe eine Spannweite von 10 kg. Zu Altersklassen zusammengefaßt wurden die Kinder von jeweils zwei aufeinanderfolgenden Jahrgängen (z.B. 6/7, 8/9 Jahre, etc.) Dabei ist zu beachten, daß bei der Erfassung der Daten für Größe und Gewicht die Werte jeweils auf ganze Zentimeter bzw. Kilogramm auf- oder abgerundet wurden.

Eine Aufrundung bei der Erfassung der Lebensjahre erfolgte dagegen nicht (d.h. die Altersgruppe 6/7 umfaßt alle Kinder im Alter von 6,0 bis 7,99 Jahre.)

Diese Auf- bzw. Abrundungen wurden bei der graphischen Darstellung der Percentilen für die einzelnen Gruppen entsprechend berücksichtigt. Die für jede Gruppe errechneten Percentilwerte der diversen Lungenfunktionsparameter wurden jeweils am Gruppenmittelpunkt aufgetragen und dann linear miteinander verbunden, sodaß sich die verschiedenen Kurven ergaben (Gruppenmittelpunkt der Altersklasse 6/7 : 7,0 Jahre; Gruppenmittelpunkt der Größenklasse 115 - 124 cm : 119,5 cm!)

Man achtete bei der Auswertung darauf, daß pro Größen-, Alters- oder Gewichtsklasse eine ausreichende Zahl von Probanden untersucht worden waren.

Gruppen, bei denen dies nicht der Fall war, wurden nicht in die Auswertung einbezogen. Die Fallzahl der Gruppen, die ausgewertet wurden reicht von minimal 29 bis maximal 369. Bei einer geringeren Zahl von Testpersonen wäre die Erstellung von Percentilen (insbesondere der 10 % und 90 % Percentile) unrealistisch. Auf diese Weise ergaben sich bei den Buben für Größe, Alter und Gewicht je sieben Untergruppen, bei den Mädchen jeweils sechs Klassen für Größe und Gewicht, sowie sieben für das Alter, die für die Auswertung in Frage kamen.

In der folgenden Tabelle ist die Verteilung der Untersuchten nach Größe, Alter und Gewicht dargestellt.

Tabelle 3: Anzahl der gesunden Testpersonen in den einzelnen Größen-, Alters- und Gewichtsgruppen

Größe (cm)	Buben	Mädchen	zusammen
bis 114	0	0	0
115 - 124 (1)	29	41	70
125 - 134 (2)	84	82	166
135 - 144 (3)	119	96	215
145 - 154 (4)	102	153	255
155 - 164 (5)	71	369	440
165 - 174 (6)	108	214	322
175 - 184 (7)	111	11	122
185 und mehr	<u>23</u>	<u>0</u>	<u>23</u>
	647	966	1613

Alter (Jahre)	Buben	Mädchen	zusammen
5	3	0	3
6/7 (1)	65	73	138
8/9 (2)	101	92	193
10/11 (3)	140	160	300
12/13 (4)	97	200	297
14/15 (5)	105	269	374
16/17 (6)	82	135	217
18/19 (7)	48	36	84
20-22	<u>6</u>	<u>1</u>	<u>7</u>
	647	966	1613

Gewicht (kg)	Buben	Mädchen	zusammen
bis 14	0	0	0
15 - 24 (1)	47	52	99
25 - 34 (2)	164	158	322
35 - 44 (3)	134	171	305
45 - 54 (4)	82	335	417
55 - 64 (5)	102	192	294
65 - 74 (6)	79	47	126
75 - 84 (7)	33	10	43
85 und mehr	<u>6</u>	<u>1</u>	<u>7</u>
	647	966	1613

3.2.1. Normwerte für $FEV_{0,5}/FVC$

Auf eine graphische Darstellung der Entwicklung der Relativen Halbsekunden- bzw. Ein-Sekundenkapazität wurde verzichtet. Ihre geringen Korrelationen mit Größe, Alter und Gewicht sind bereits beschrieben worden (siehe 3.1.1.). Statt dessen werden die errechneten prozentualen Werte für die einzelnen Perzentilen von $FEV_{0,5}/FVC$ und $FEV_{1,0}/FVC$ in Tabelle 4,5 u. 6 wiedergegeben.

Tabelle 4a: $FEV_{0,5}/FVC$ in %, bezogen auf die Körpergröße

<u>Buben</u>	115-	125-	135-	145-	155-	165-	175-	cm
P.	124	134	144	154	164	174	184	
10 %	62,5	65,7	62,1	60,1	59,0	58,4	59,9	
25 %	71,5	70,6	66,9	66,5	63,7	65,1	64,1	
50 %	78,5	74,8	72,5	72,4	70,7	70,3	68,8	
75 %	85,4	80,7	77,3	77,4	78,0	75,5	73,4	
90 %	87,4	86,8	82,1	80,9	82,0	79,7	78,7	

Mädchen

P.							
10 %	69,0	66,6	65,5	64,9	65,1	62,4	
25 %	73,0	72,2	71,2	71,3	71,5	68,7	
50 %	79,0	77,4	76,6	77,1	77,1	73,9	
75 %	83,0	82,3	82,9	81,5	82,4	80,8	
90 %	90,0	85,4	86,7	87,2	87,9	86,2	

Tabelle 4b: FEV_{0,5}/FVC in %, bezogen auf das Alter

<u>Buben</u>	6/7	8/9	10/11	12/13	14/15	16/17	18/19	Jahre
P.								
10 %	66,3	60,0	61,2	61,6	59,6	59,1	56,8	
25 %	71,4	65,5	67,1	65,1	64,8	65,0	64,3	
50 %	76,5	71,7	72,9	71,3	69,4	69,2	70,3	
75 %	82,7	78,5	77,7	76,8	74,5	74,1	74,0	
90 %	88,5	82,7	82,1	81,7	78,8	77,0	80,7	

Mädchen

P.								
10 %	67,4	62,6	66,4	64,6	64,7	60,2	61,5	
25 %	73,6	71,1	71,1	71,9	70,7	68,5	68,3	
50 %	78,6	76,3	75,7	77,8	76,7	76,0	72,6	
75 %	83,9	81,4	81,7	82,6	83,0	79,9	77,2	
90 %	88,1	84,4	86,6	87,7	87,9	84,8	80,5	

Tabelle 4c: FEV_{0,5}/FVC in %, bezogen auf das Gewicht

<u>Buben</u>	15- 24	25- 34	35- 44	45- 54	55- 64	65- 74	75- 84	kg
P.								
10 %	62,8	63,2	60,9	61,0	58,5	58,8	56,6	
25 %	69,5	68,4	66,2	65,1	64,6	63,1	62,7	
50 %	75,0	73,5	71,0	71,5	70,3	68,9	68,2	
75 %	84,5	79,1	77,1	76,9	75,7	73,3	71,6	
90 %	90,4	82,6	82,3	81,2	78,5	79,7	74,3	

Mädchen

P.								
10 %	67,0	65,9	65,8	65,0	60,2	61,8		
25 %	71,7	71,7	72,4	71,6	68,5	70,2		
50 %	78,8	76,4	77,2	77,1	74,1	75,0		
75 %	82,8	82,3	81,8	82,5	82,1	78,6		
90 %	90,0	85,7	86,8	87,9	87,3	84,6		

3.2.2. Normwerte für $FEV_{1,0}/FVC$

Tabelle 5a $FEV_{1,0}/FVC$ in %, bezogen auf die Körpergröße

<u>Buben</u>	115- 124	125- 134	135- 144	145- 154	155- 164	165- 174	175- 184	cm
P.								
10 %	83,9	82,8	80,9	81,5	77,0	79,3	80,1	
25 %	90,1	89,5	85,7	85,8	84,1	84,5	84,2	
50 %	93,5	92,2	90,6	90,0	87,7	88,8	87,8	
75 %	97,9	96,4	94,3	94,1	92,6	93,9	91,5	
90 %	100,0	98,7	97,0	96,3	97,0	97,3	95,5	

Mädchen

P.								
10 %	86,1	85,1	83,8	85,4	85,1	85,5		
25 %	90,1	89,2	87,8	89,5	89,1	88,9		
50 %	94,7	92,5	92,4	93,5	93,3	93,7		
75 %	98,6	97,1	96,7	97,0	97,5	97,3		
90 %	100,0	99,0	98,8	99,5	99,6	99,6		

Tabelle 5b: $FEV_{1,0}/FVC$ in %, bezogen auf das Alter

<u>Buben</u>	6/7	8/9	10/11	12/13	14/15	16/17	18/19	Jahre
P.								
10 %	83,5	81,0	82,3	78,2	78,8	80,1	81,8	
25 %	90,1	86,7	85,7	83,7	84,2	82,9	87,0	
50 %	93,5	90,9	90,6	88,5	88,5	87,5	89,3	
75 %	97,7	95,1	94,1	93,0	93,1	91,7	93,6	
90 %	99,1	98,2	96,5	96,8	96,1	95,6	97,1	

Mädchen

P.								
10 %	87,1	84,8	84,0	84,6	86,1	85,7	83,5	
25 %	89,7	89,1	88,9	88,6	89,8	89,5	86,4	
50 %	94,3	92,3	92,7	93,2	94,3	93,5	91,5	
75 %	98,0	95,3	96,5	97,5	98,0	97,3	96,7	
90 %	100,0	99,0	99,2	99,5	100,0	99,4	98,8	

Tabelle 5c: $FEV_{1,0}/FVC$ in %, bezogen auf das Gewicht

<u>Buben</u>	15-	25-	35-	45-	55-	65-	75-
P.	24	34	44	54	64	74	84 kg
10 %	82,9	83,3	80,6	79,2	79,4	78,4	76,8
25 %	89,4	88,1	84,8	84,1	85,1	83,4	80,4
50 %	92,8	91,9	89,3	87,2	89,6	87,5	87,1
75 %	97,7	95,2	92,8	93,1	94,7	91,2	90,5
90 %	98,9	97,8	95,9	96,9	97,4	94,1	94,5

Mädchen

P.							
10 %	87,4	83,8	84,2	85,8	85,0	84,3	
25 %	90,3	88,5	88,8	89,6	89,0	86,5	
50 %	94,6	92,4	93,0	93,9	94,0	92,7	
75 %	97,7	96,2	97,6	97,4	97,7	96,7	
90 %	100,0	98,8	99,6	99,5	99,8	99,3	

3.2.3 Normkurven nach Größe

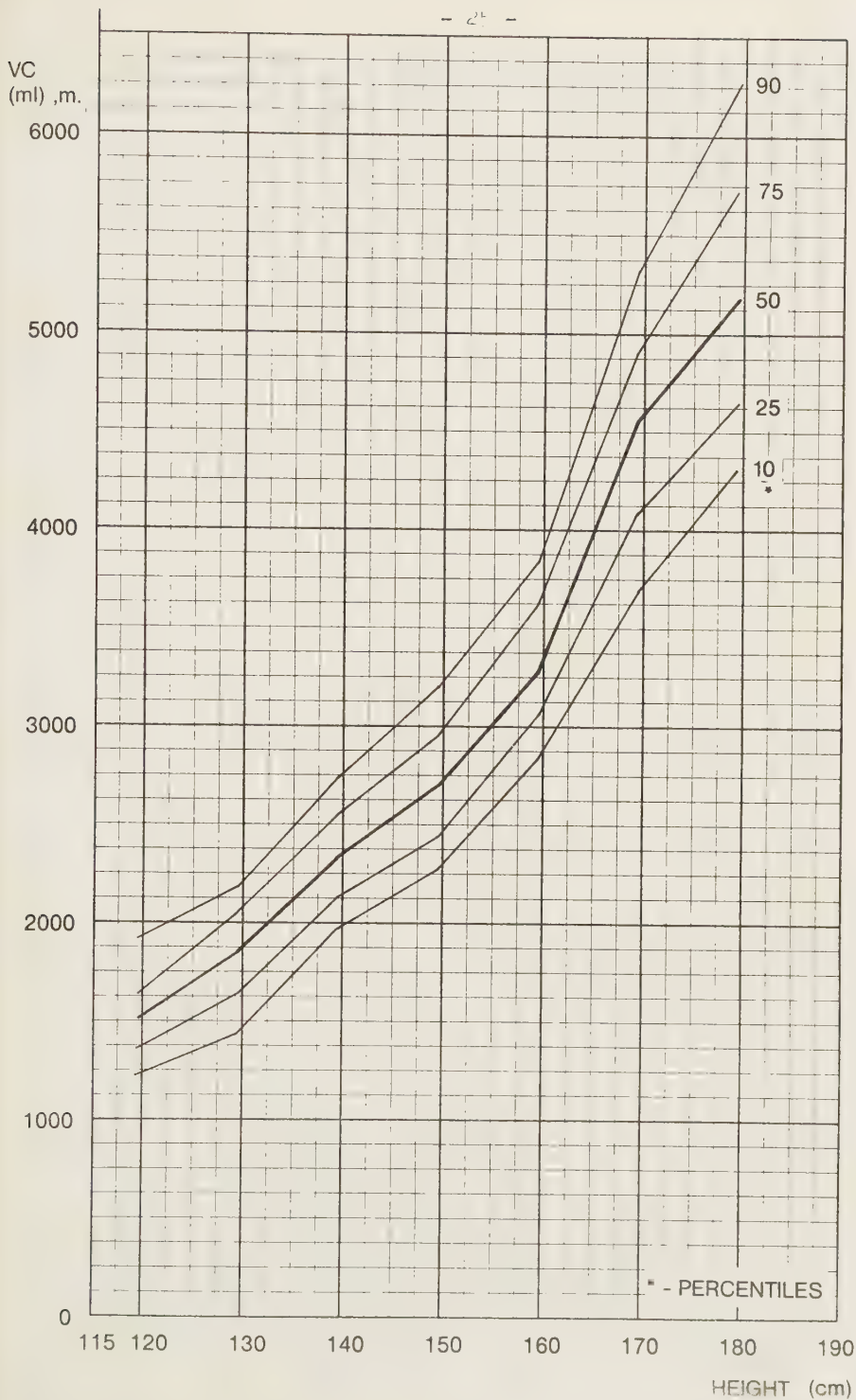
Die jeweils sechs für Buben und Mädchen dargestellten Normkurven zeigen ein durchwegs unterschiedliches Bild: Während bei den Knaben nach einem etwas deutlicher ausgeprägten Anstieg der Lungenfunktionswerte im Größenbereich 130/140 cm ein stark überproportionales Anwachsen im Bereich von 160/170 cm zu konstatieren ist, findet sich bei den Mädchen eine weitgehend lineare Verbesserung der Werte im Verhältnis zur Größe. Eine Ausnahme bildet dabei nur der Atemgrenzwert, bei dem auch für das weibliche Geschlecht eine überproportionale Steigerung in der Größengruppe 140 - 160 cm beobachtet werden kann. Erst in der jeweils letzten erfaßten Größenklasse schwächt sich der Anstieg der erzielten Lungenfunktionswerte wieder etwas ab. Zugleich zeigt sich in diesem Bereich auch die größte Streuung der Zahlen (Auseinanderweichen der Perzentilen!).

Vergleicht man die absoluten Werte für Buben und Mädchen der gleichen Größe, so ergibt sich zunächst ein Überwiegen der männlichen Probanden, ab etwa 150 cm erreichen die Mädchen gleiche (VC, FVC), bzw. sogar bessere Ergebnisse als die Buben ($FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$, PEF_R), die dann allerdings wieder ab einer Größe von ungefähr 160 cm deutlich voranliegen. Lediglich beim Atemgrenzwert (MVV) finden sich für alle Größenklassen höhere Werte bei den Buben. Insbesondere in den oberen Gruppen ist die Differenz hierbei auch am deutlichsten ausgeprägt.

Betrachtet man die Relative Halbsekunden- bzw. Ein-Sekundenkapazität bezogen auf die Größe (Tabelle 4), so zeigt sich ebenfalls ein unterschiedliches Verhalten: Die Prozentzahlen der Mädchen liegen allgemein höher, besonders in den oberen Größengruppen.

Dort beträgt die Differenz etwa 5 %. Bei beiden Geschlechtern ist für die Relative Halbsekundenkapazität mit zunehmender Größe eine Abnahme zu konstatieren, die allerdings bei den Buben stärker ausgeprägt ist. Die von den Mädchen erzielte Relative Ein-Sekundenkapazität bleibt in allen Größengruppen etwa gleich (Durchschnitt 93 %), während bei den Buben ein leichter Rückgang der Zahlen eintritt.

In der untersten erfaßten Größenklasse (115 - 124 cm) expirieren immerhin mindestens 10 % der Untersuchten ihre gesamte Forcierte Vitalkapazität in der ersten Sekunde!



VC
(ml) , f.

6000

5000

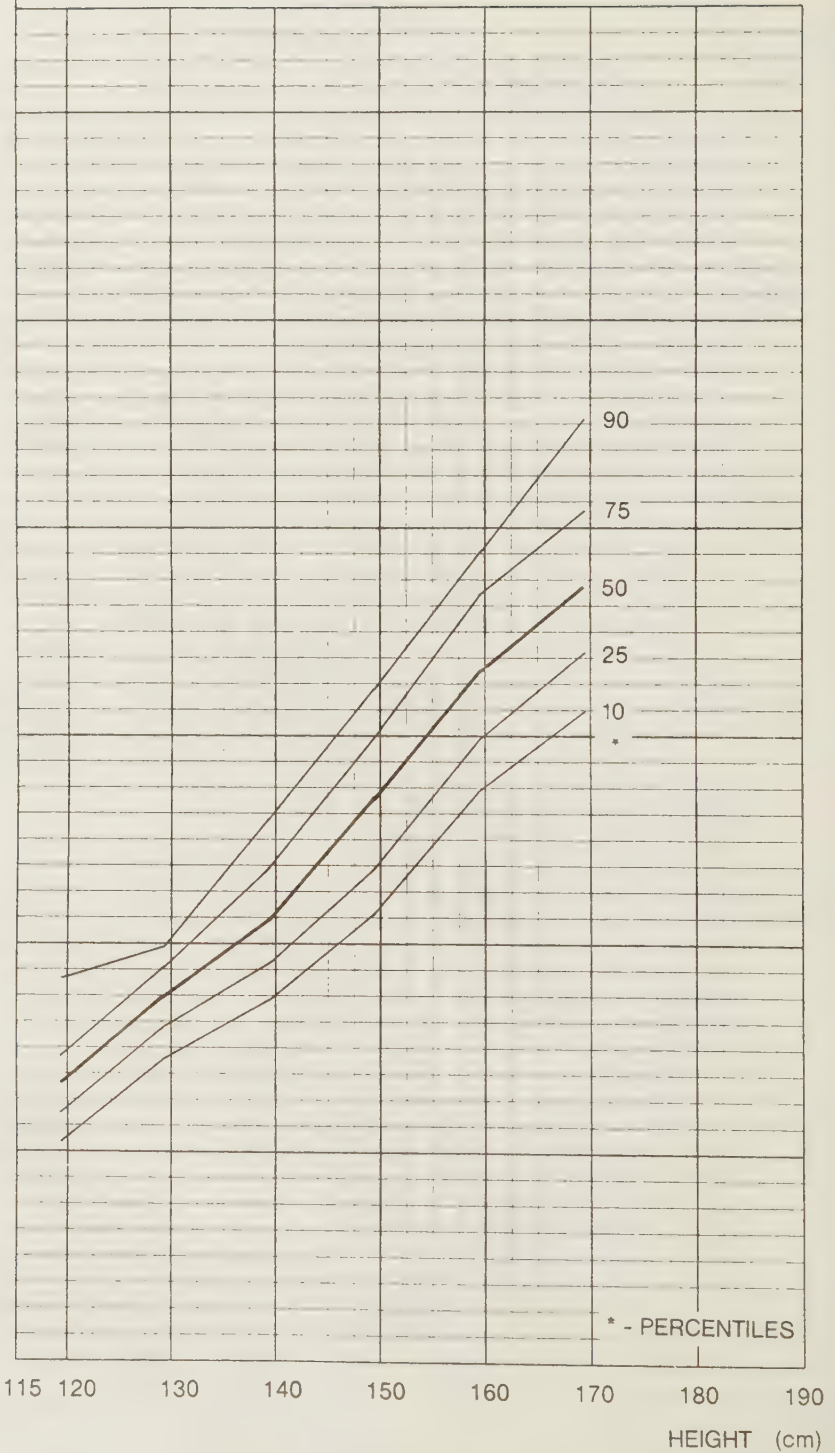
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

FVC
(ml) ,m.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

115 120 130 140 150 160 170 180 190

HEIGHT (cm)

90

75

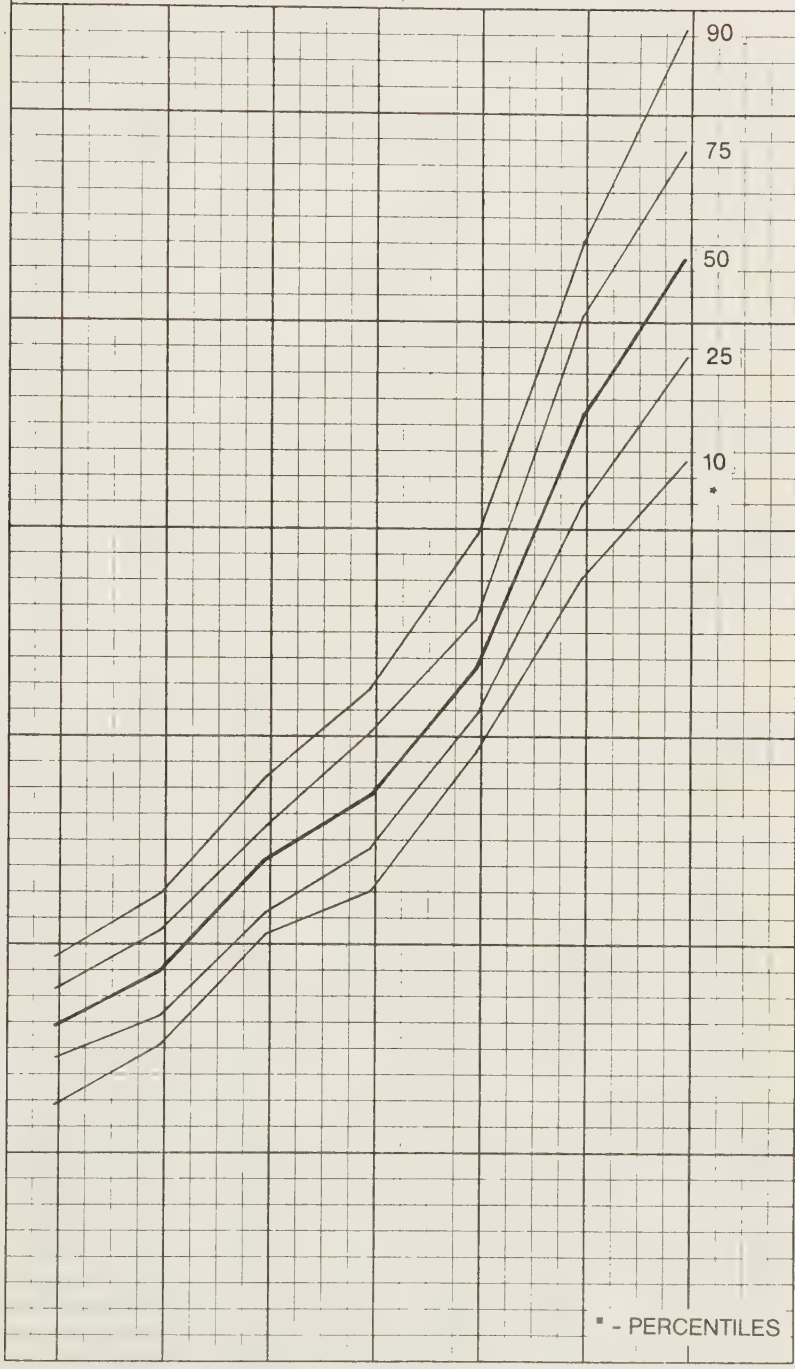
50

25

10

*

■ - PERCENTILES



FVC
(ml), f.

6000

5000

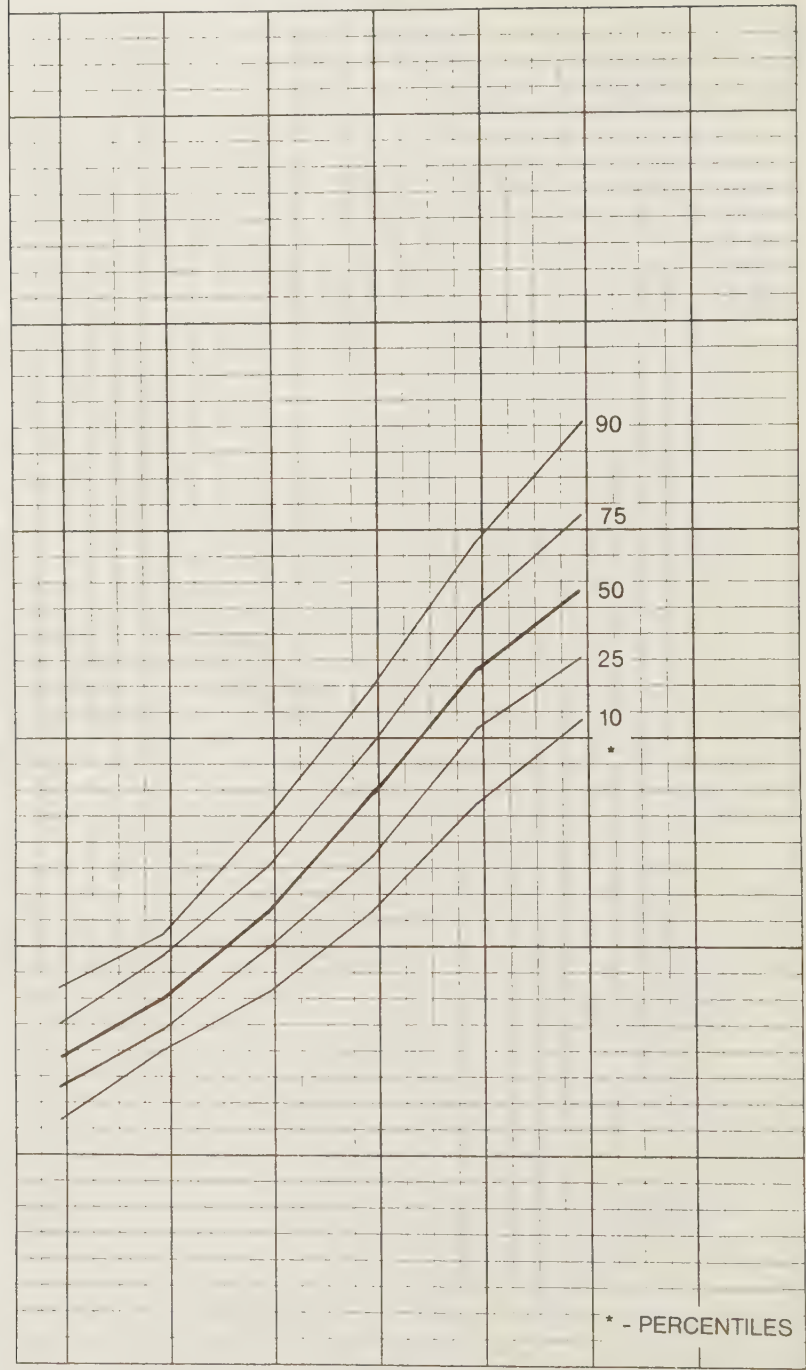
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

HEIGHT (cm)

FEV_{0,5}
(ml), m.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

115 120

130

140

150

160

170

180

190

HEIGHT (cm)

90

75

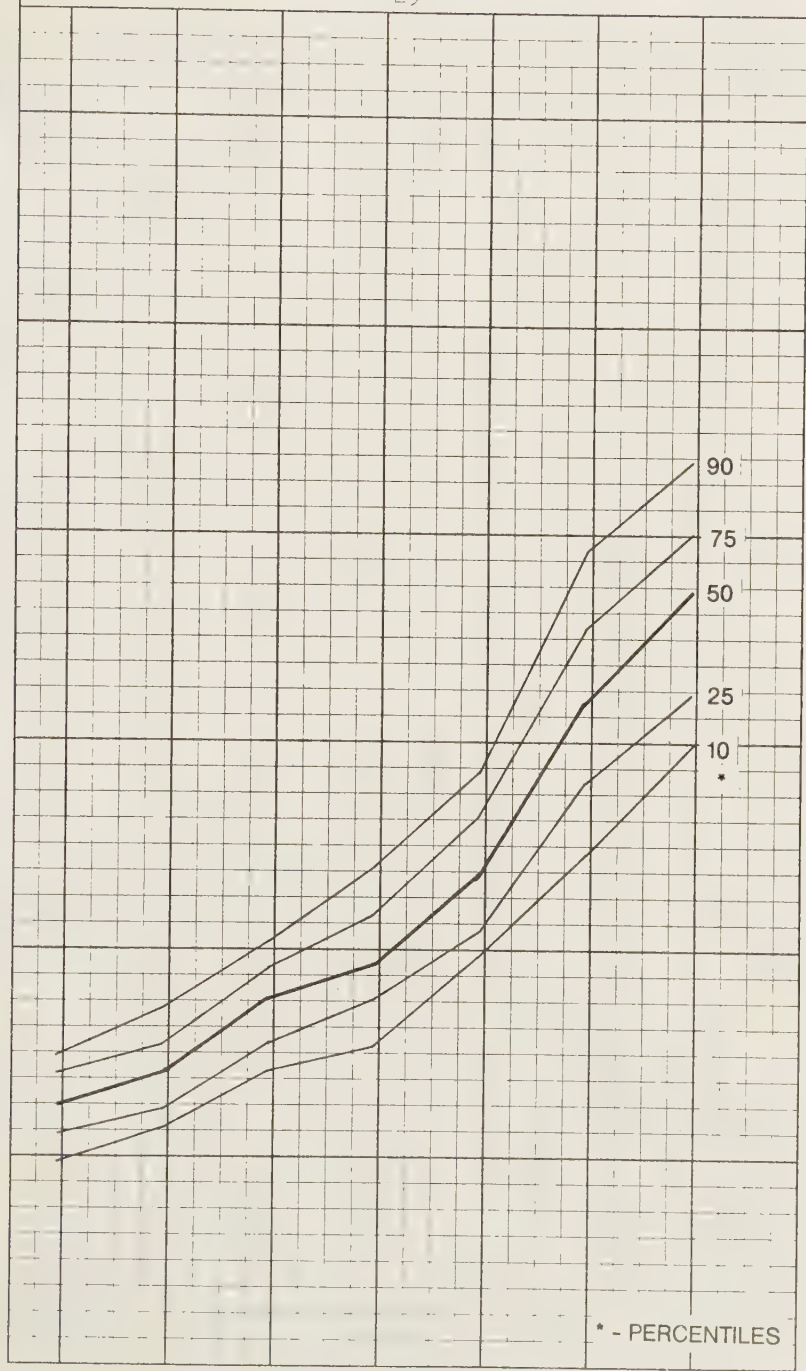
50

25

10

*

* - PERCENTILES



FEV_{0,5}
(ml), f.

6000

5000

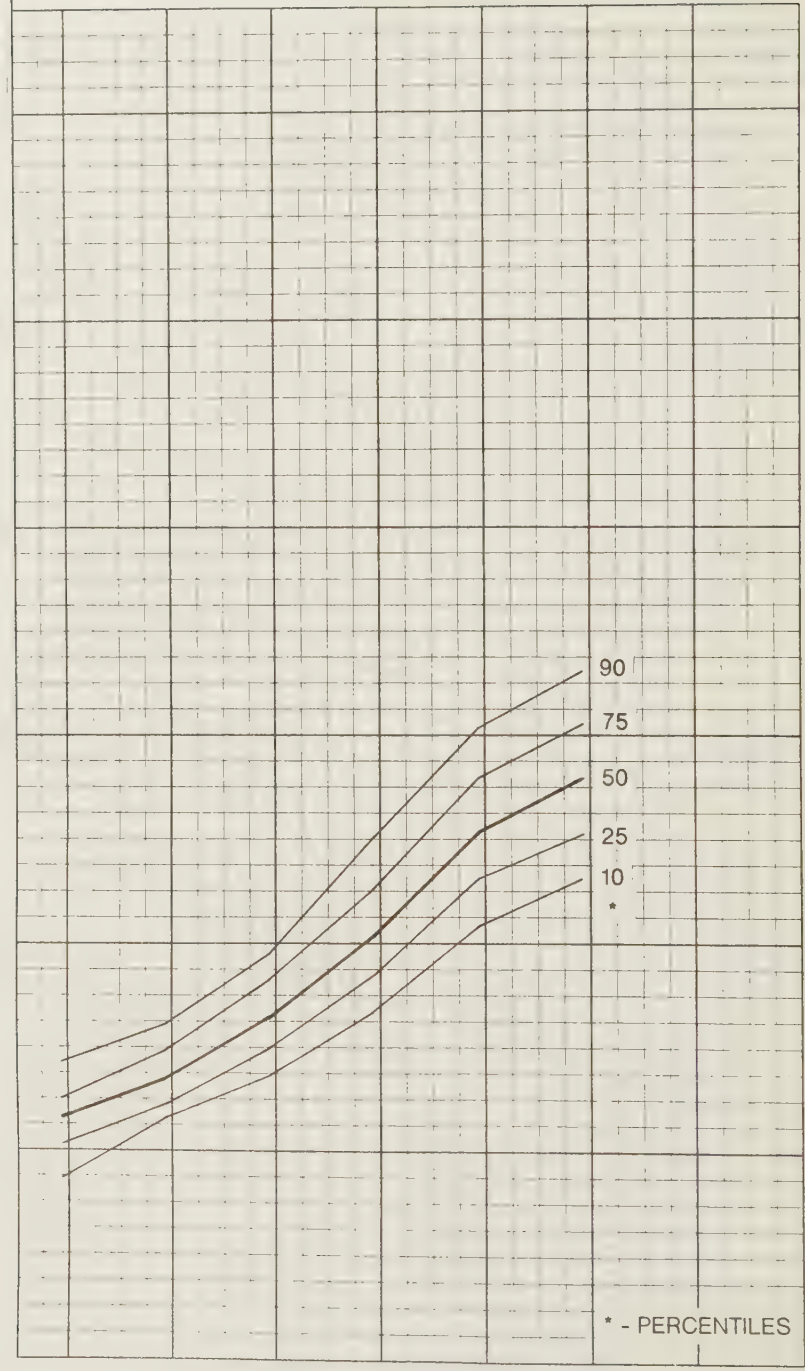
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

115 120 130 140 150 160 170 180 190

HEIGHT (cm)

FEV_{1,0}
(ml) ,m.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

90

75

50

25

10

*

* - PERCENTILES

115 120

130

140

150

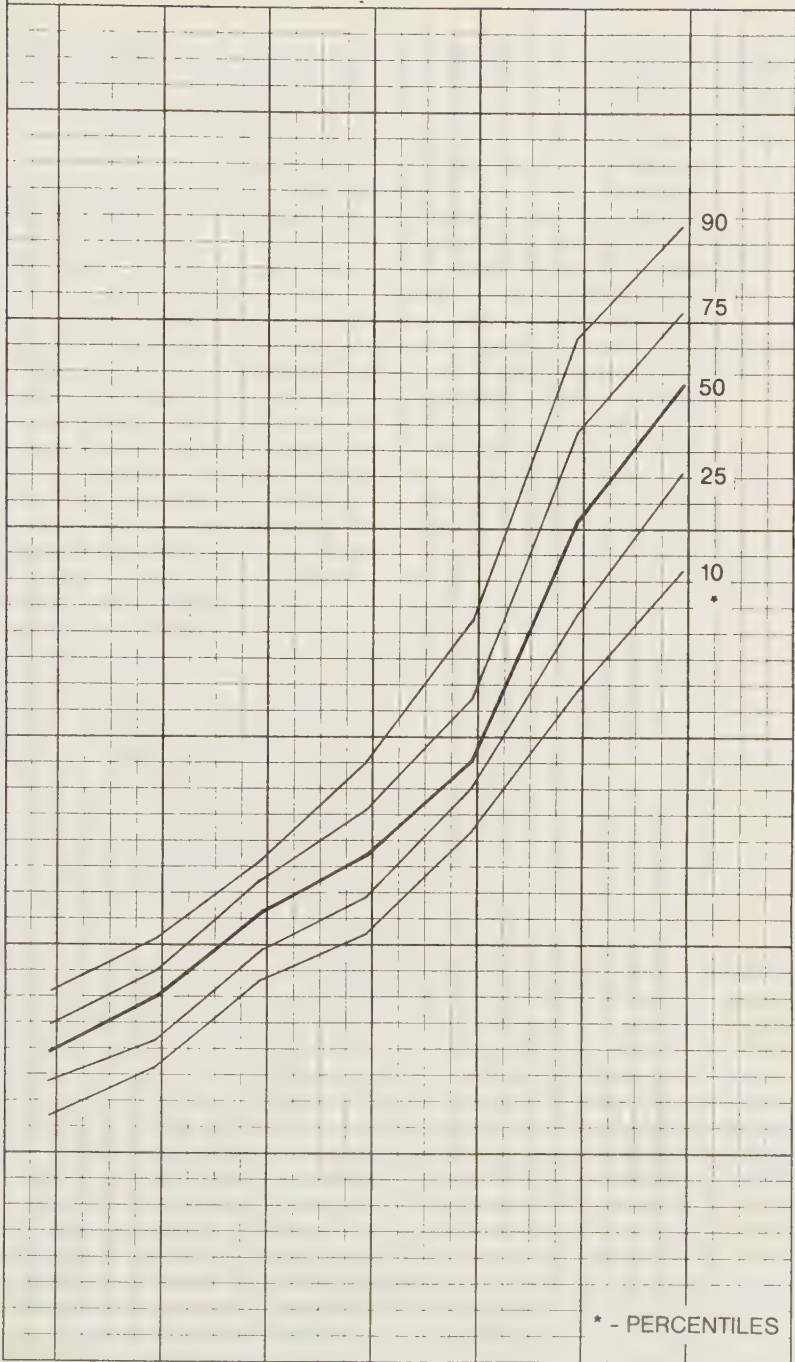
160

170

180

190

HEIGHT (cm)



FEV_{1,0}
(ml), f.

6000

5000

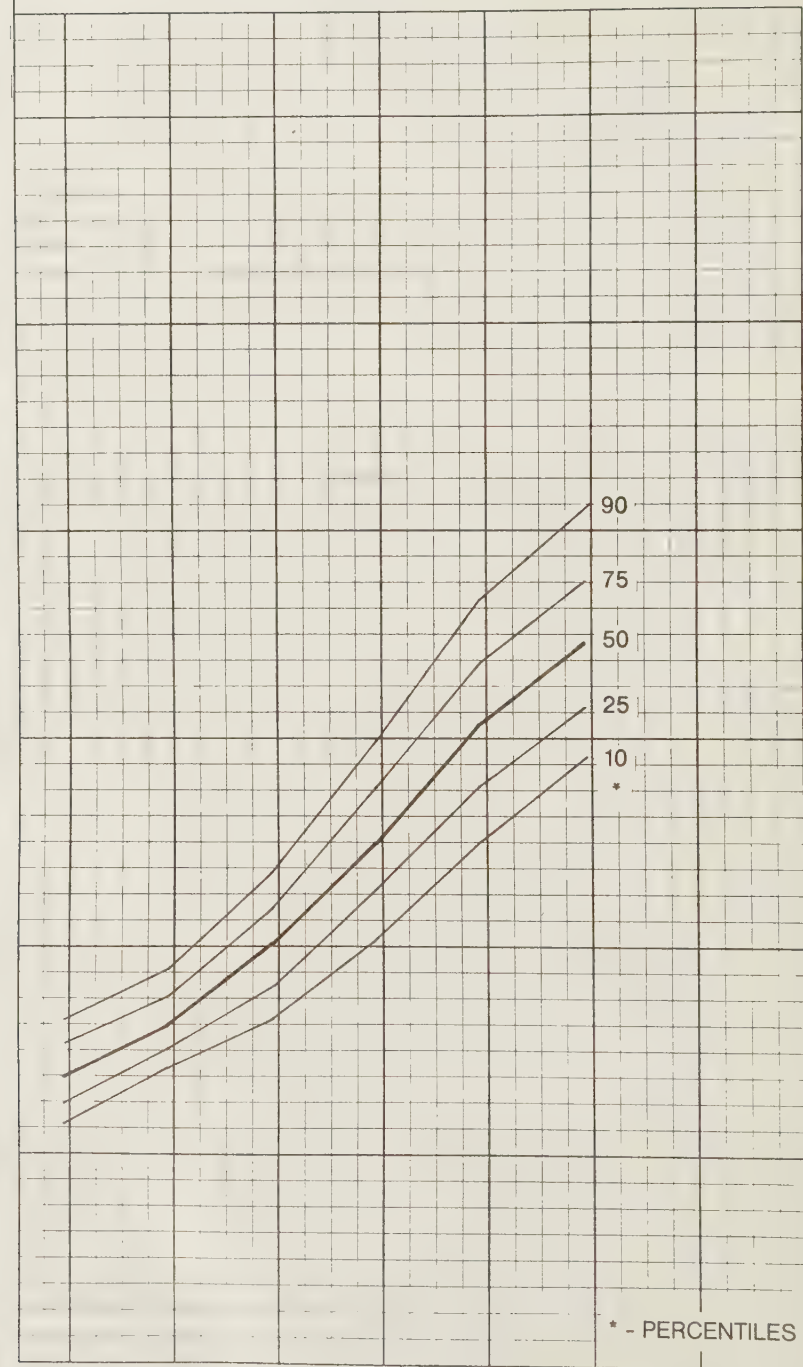
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

HEIGHT (cm)

PEFR
(l/min), m.

700

600

500

400

300

200

100

90

75

50

25

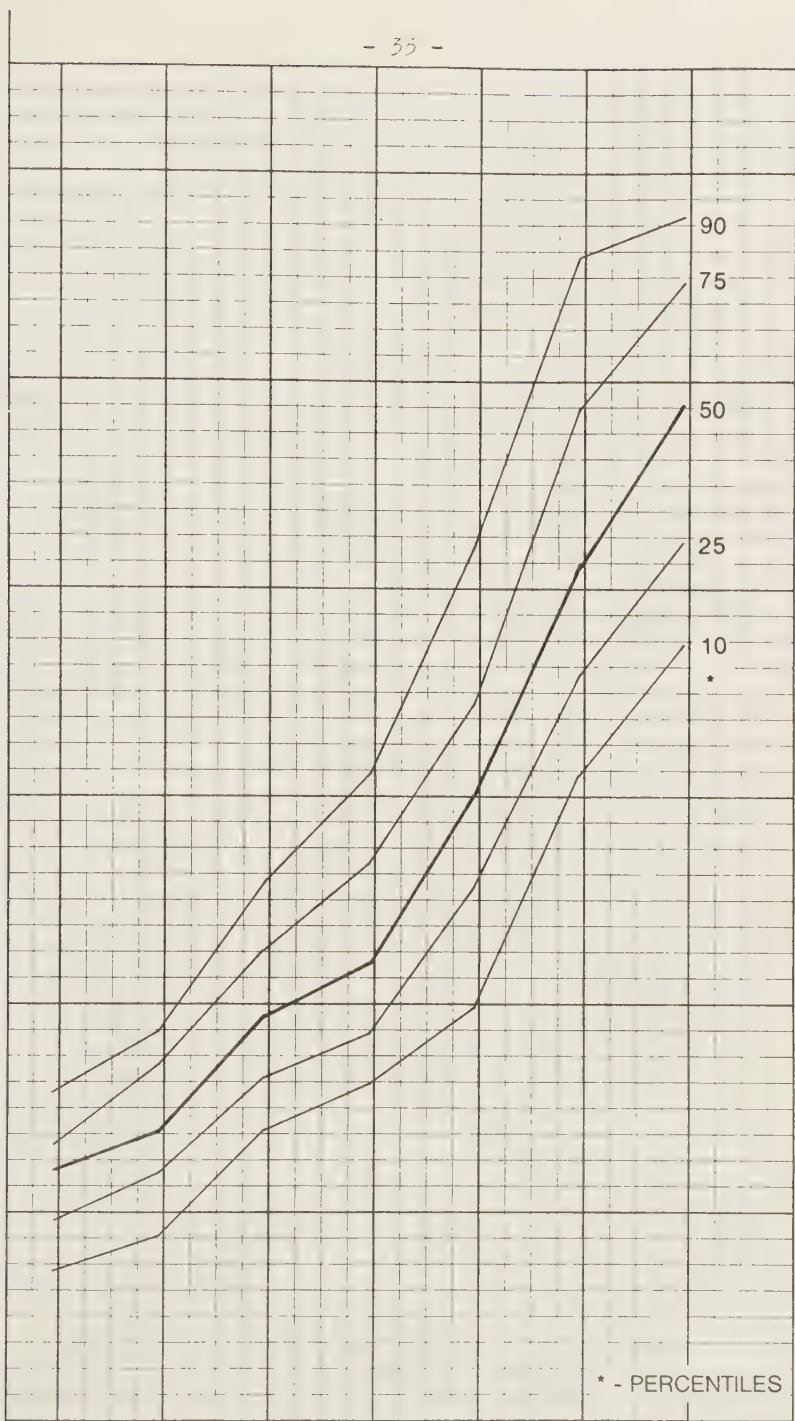
10

*

* - PERCENTILES

115 120 130 140 150 160 170 180 190

HEIGHT (cm)



PEFR
(l/min), f.

600

500

400

300

200

100

0

115 120

130

140

150

160

170

180

190

HEIGHT (cm)

90

75

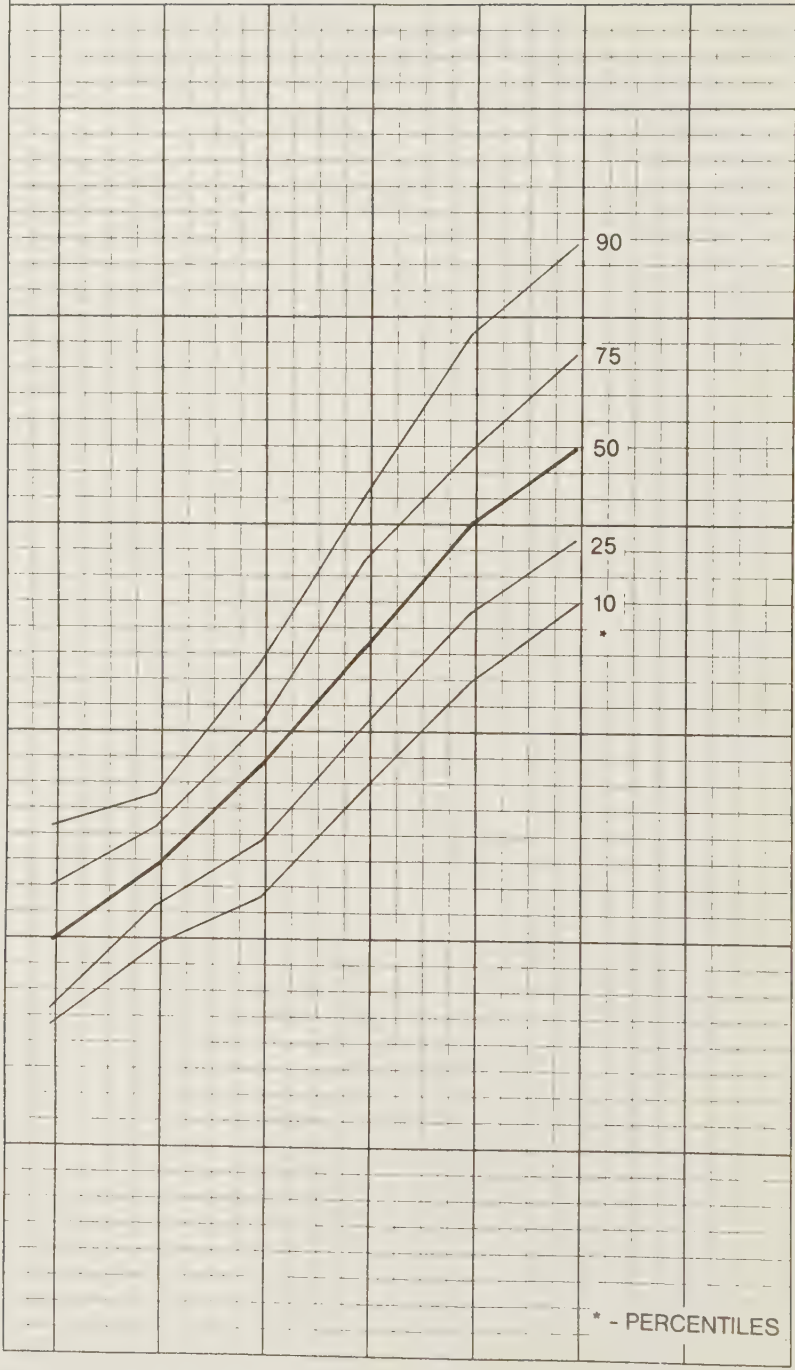
50

25

10

*

* - PERCENTILES



MVV
(l/min), m.

240

200

160

120

80

40

0

115 120

130

140

150

160

170

180

190

HEIGHT (cm)

90

75

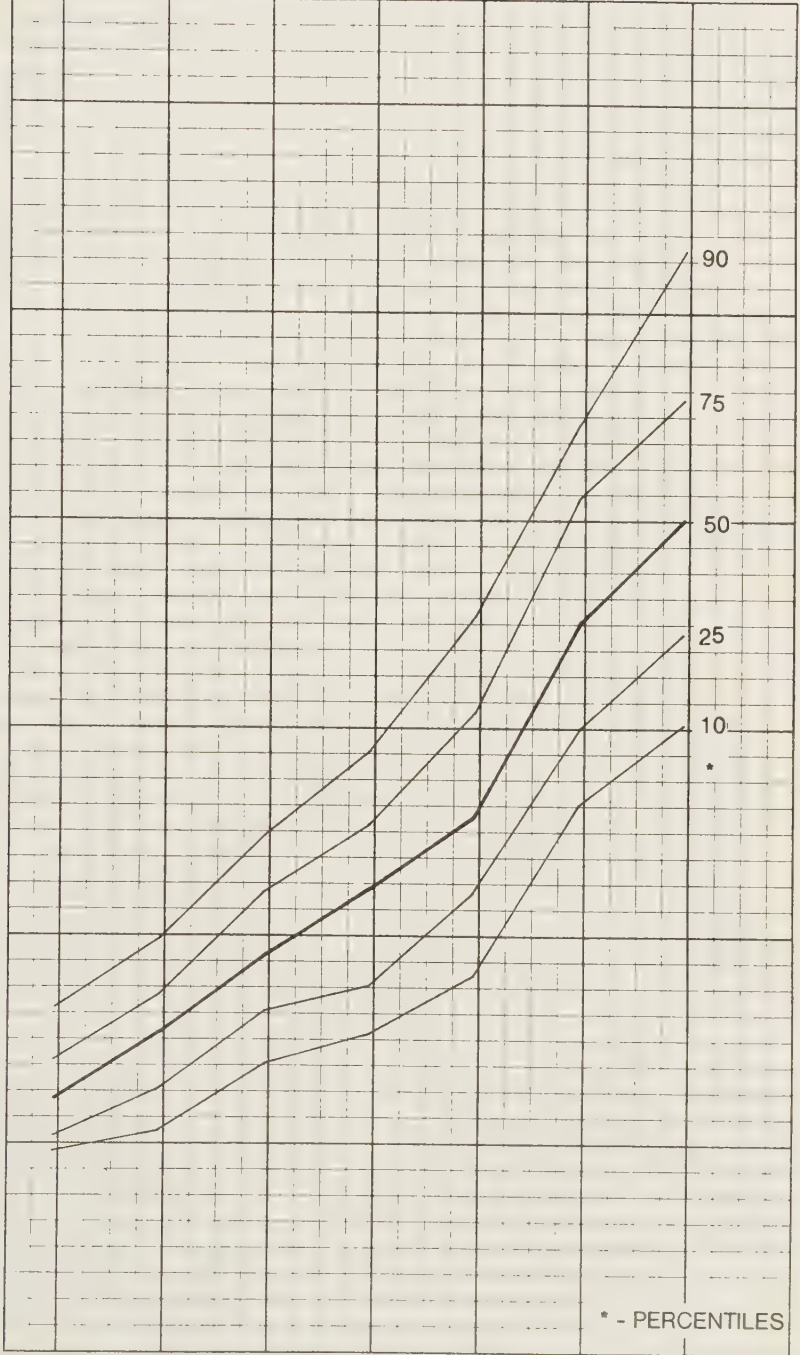
50

25

10

*

* - PERCENTILES



MW
(l/min), f.
240

200

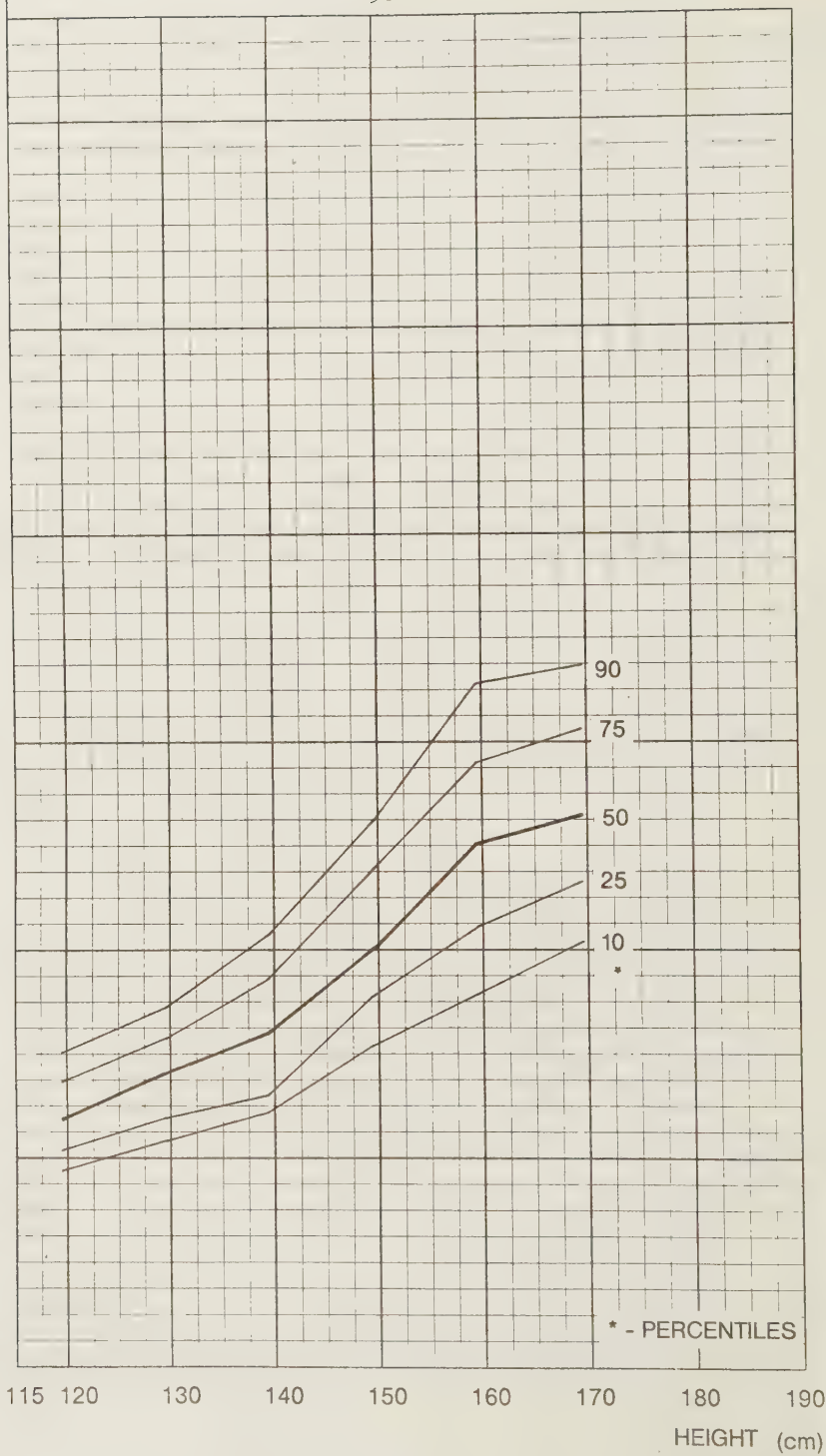
160

120

80

40

0



* - PERCENTILES

3.2.4. Normkurven nach Alter

Nimmt man das Alter als Vergleichsmaßstab, so ergibt sich insbesondere bei den Mädchen ein etwas anderes Bild. Ein beschleunigtes Anwachsen der Werte beginnt um das 9. Lebensjahr und zieht sich bis zum 13. Lebensjahr hin. Danach flacht die Kurve wieder etwas ab, um in der letzten Altersgruppe (18/19) noch einmal etwas deutlicher anzusteigen.

Die Phase überdurchschnittlichen Wachstums der Lungenfunktionsparameter beginnt beim männlichen Geschlecht erst mit 11 Jahren und setzt sich mit größerer Geschwindigkeit bis zum 17. Lebensjahr fort, im Falle der Maximalen Expiratorischen Flußrate und des Forcierten Expiratorischen Volumens in der ersten halben Sekunde sogar noch darüber hinaus.

Infolge des früheren "Starts" der Mädchen ergeben sich für die Altersgruppe von 11- 13 Jahren annähernd gleiche Werte für beide Geschlechter, im Falle des $FEV_{0,5}$ erreichen die Mädchen bessere Ergebnisse. Ansonsten liegen die Zahlen für die Buben eher höher.

Besonders bemerkenswert erscheint, daß auch in der Phase der ausgehenden Pubertät (16/17 Jahre) bzw. danach, in der bei den Mädchen keine Zunahme, bei den Buben nur noch eine geringfügige Zunahme der Körpergröße zu verzeichnen ist (18), die Lungenfunktionswerte zum Teil noch erheblich ansteigen.

Die Ergebnisse von $FEV_{0,5}/FVC$ und $FEV_{1,0}/FVC$ ähneln den entsprechenden auf die Größe bezogenen Werten: (Tabelle 5) Mit zunehmendem Alter Rückgang der Relativen Halbsekunden- und Ein-Sekundenkapazität beim männlichen, Rückgang der Relativen Halbsekundenkapazität und Konstanz der Relativen Ein-Sekundenkapazität beim weiblichen Geschlecht. Von den Mädchen werden durchwegs höhere Ergebnisse erzielt, insbesondere im Alter von 12- 17 Jahren.

VC
(ml), m.

7000

6000

5000

4000

3000

2000

1000

6

7

9

11

13

15

17

19

AGE (years)

90

75

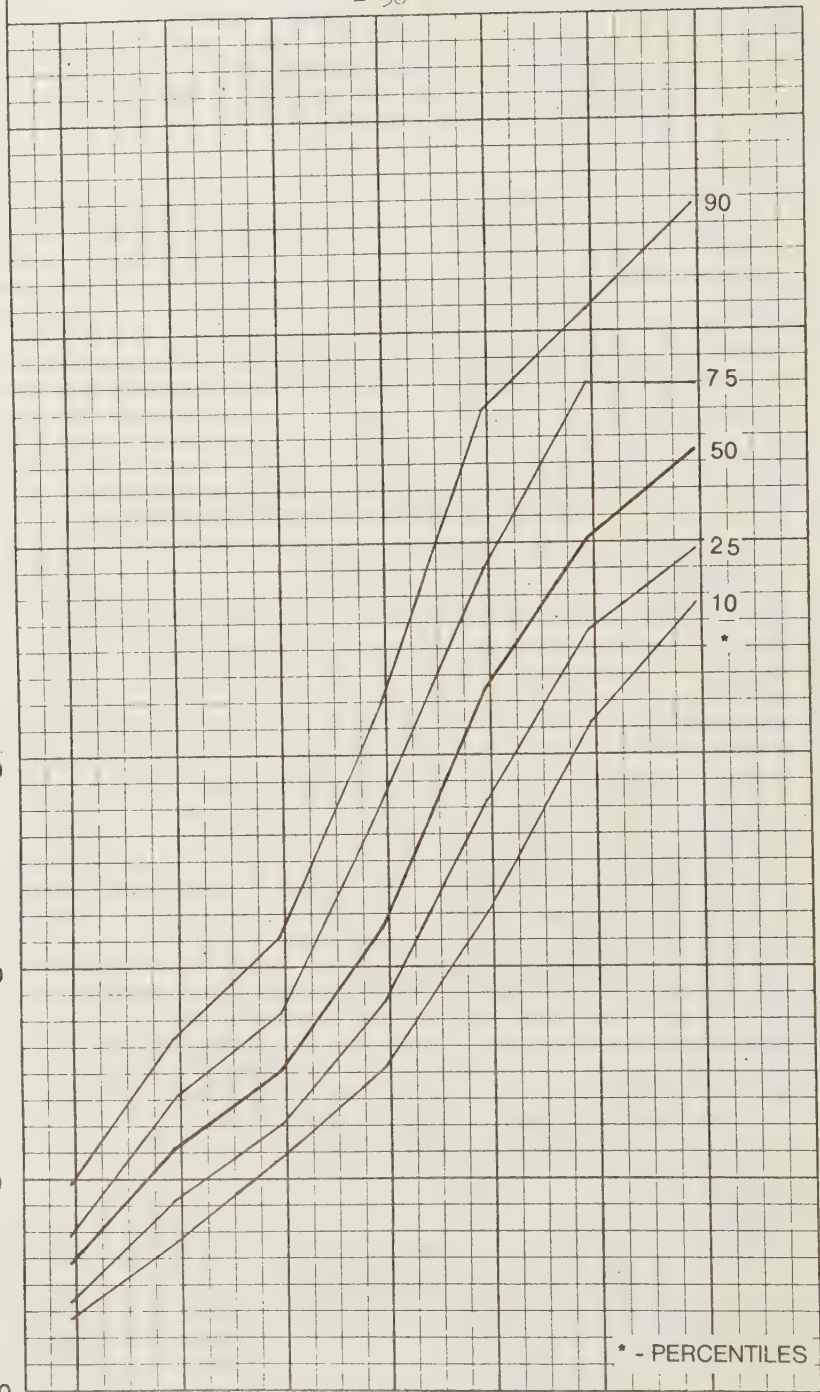
50

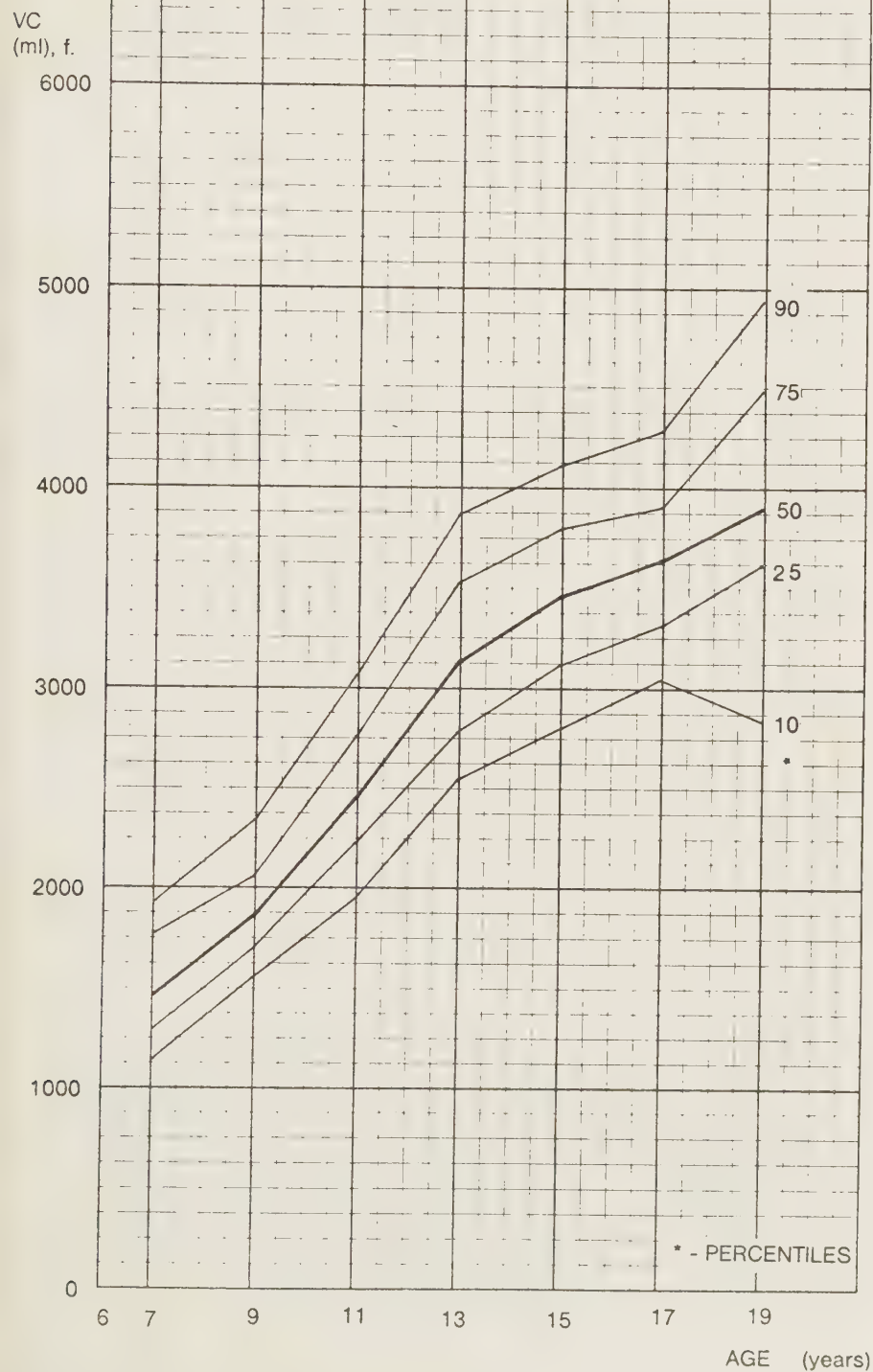
25

10

*

* - PERCENTILES





FVC
(ml), m.

7000

6000

5000

4000

3000

2000

1000

90

75

50

25

10

*

* - PERCENTILES

6

7

9

11

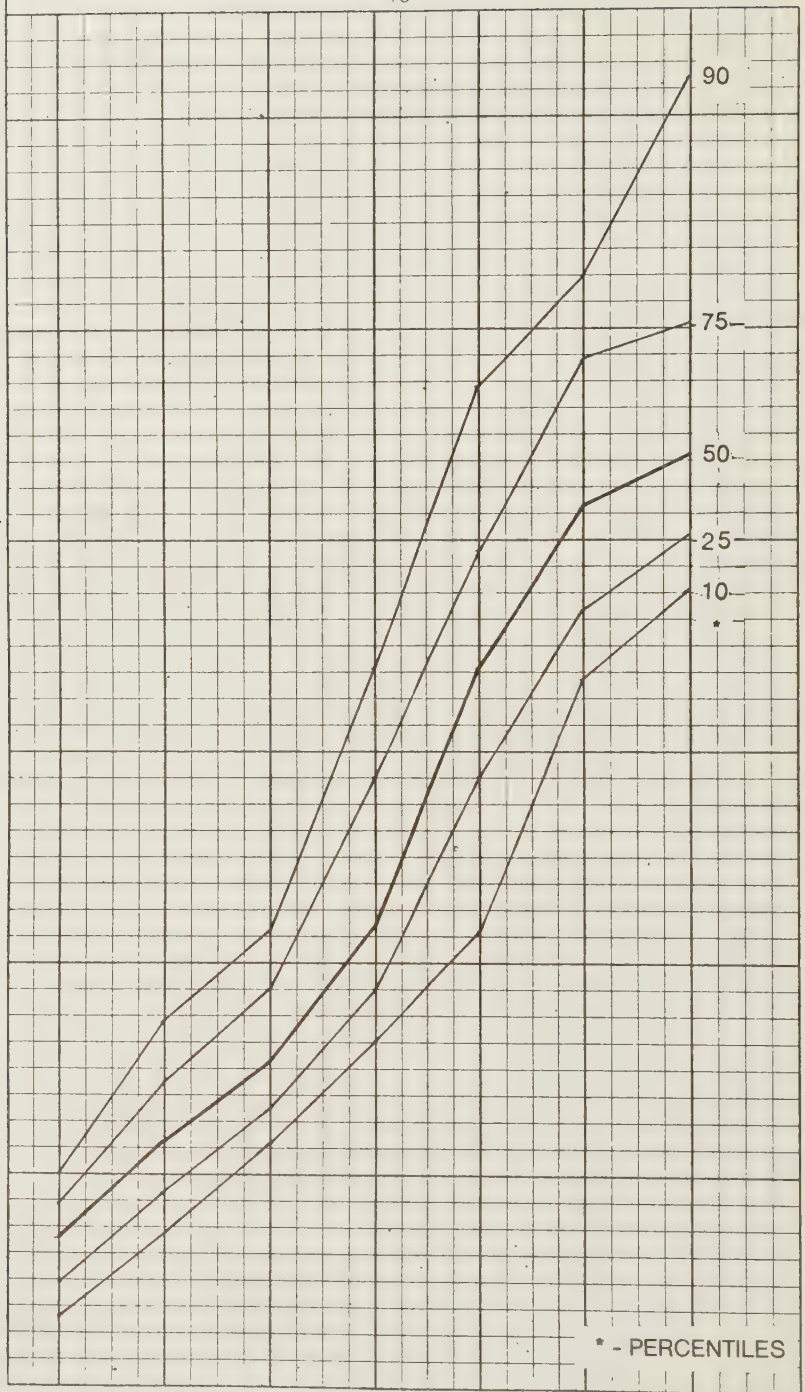
13

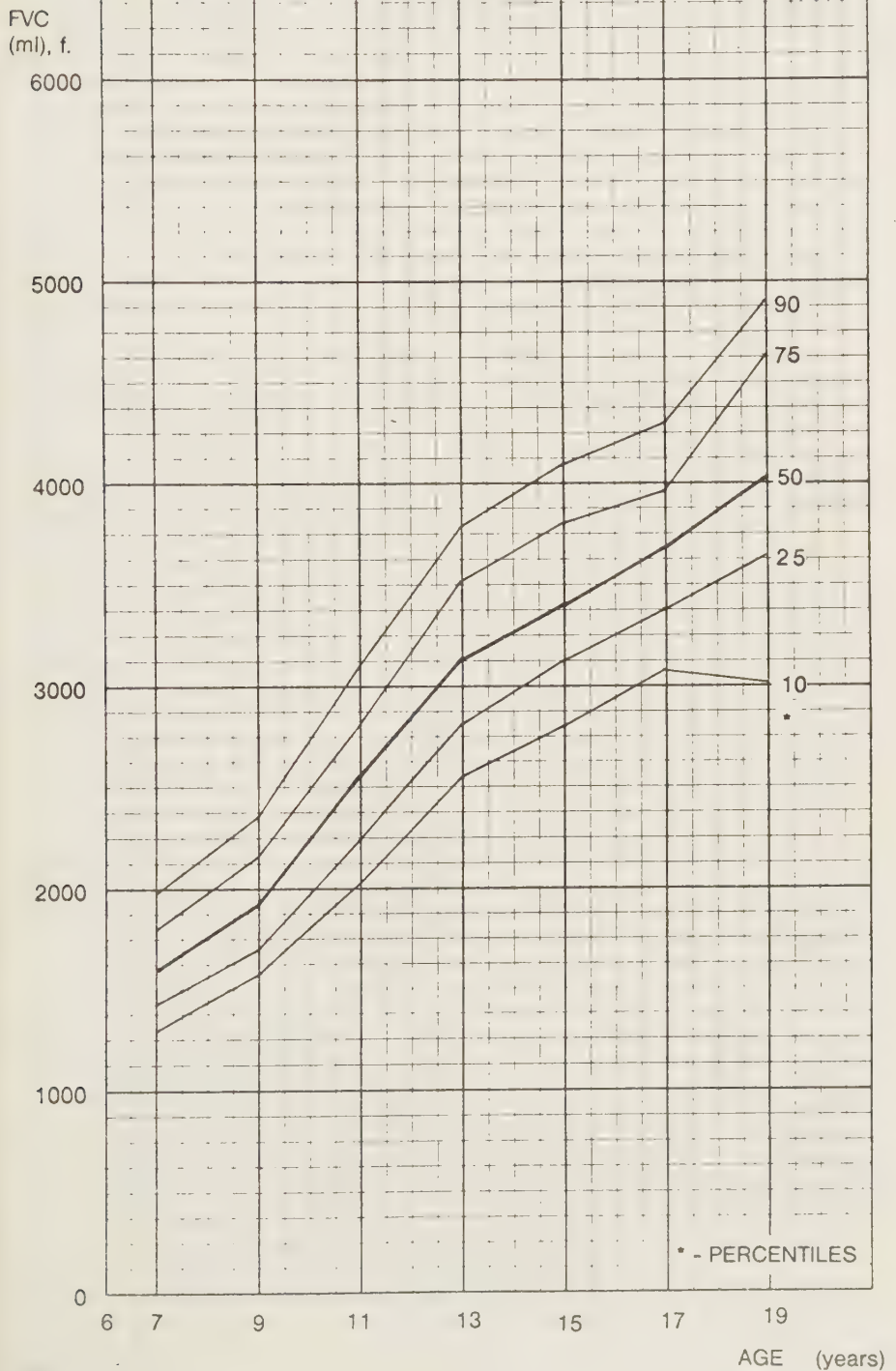
15

17

19

AGE (years)





FEV_{0,5}
(ml), m.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

6

7

9

11

13

15

17

19

AGE (years)

90

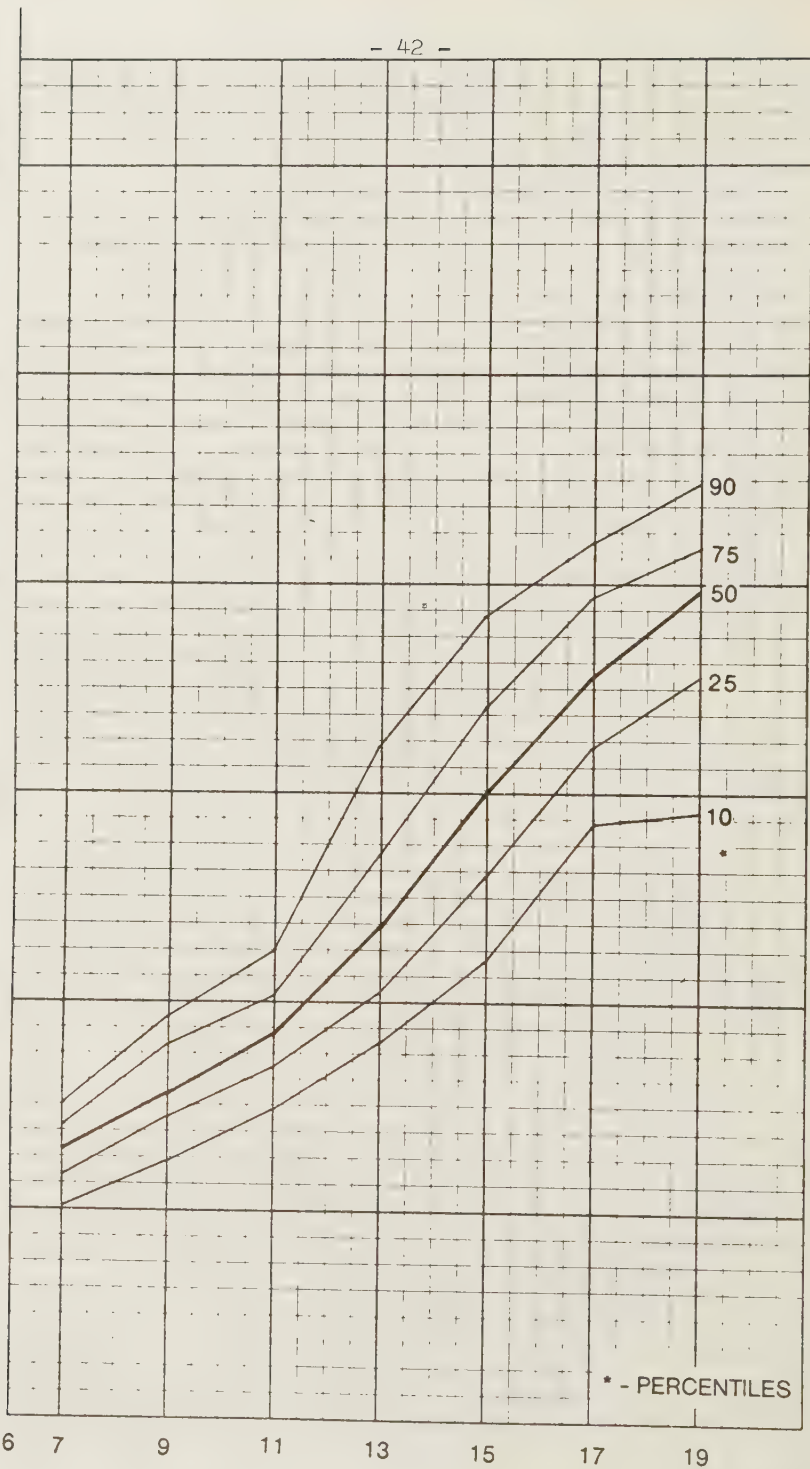
75

50

25

10

* - PERCENTILES



FEV_{0,5}
(ml), f.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

6

7

9

11

13

15

17

19

AGE (years)

90

75

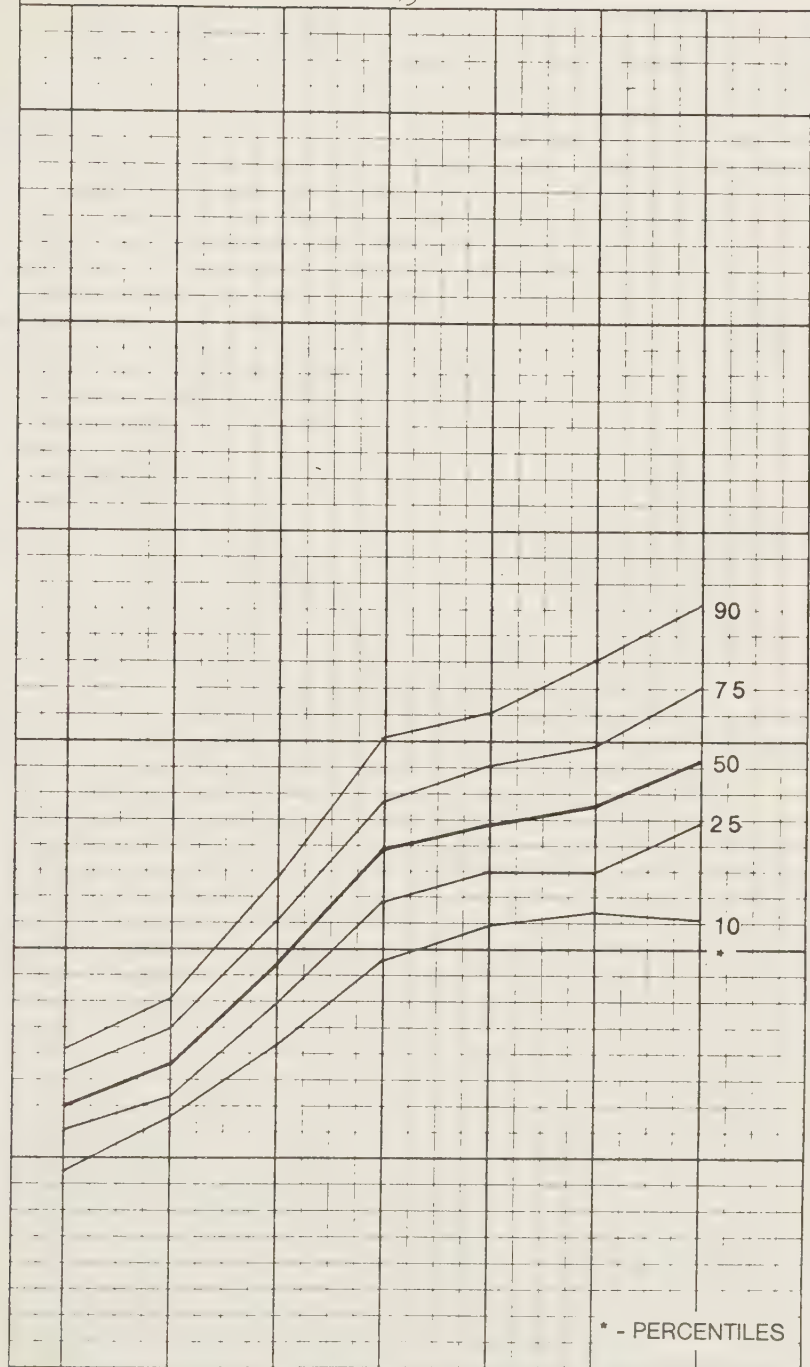
50

25

10

*

* - PERCENTILES



FEV_{1.0}
(ml), m.

6000

5000

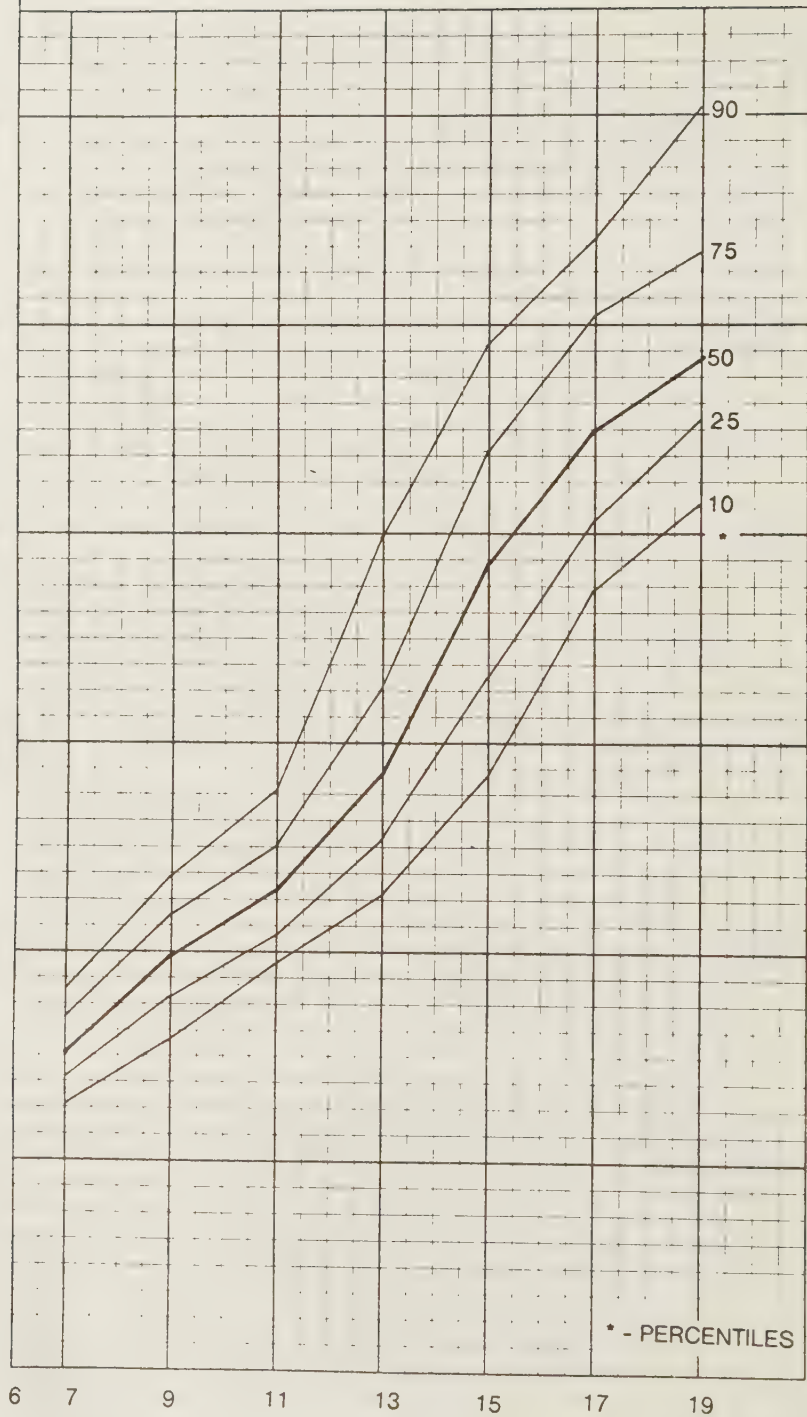
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

AGE (years)

FEV_{1,0}
(ml), f.

6000

5000

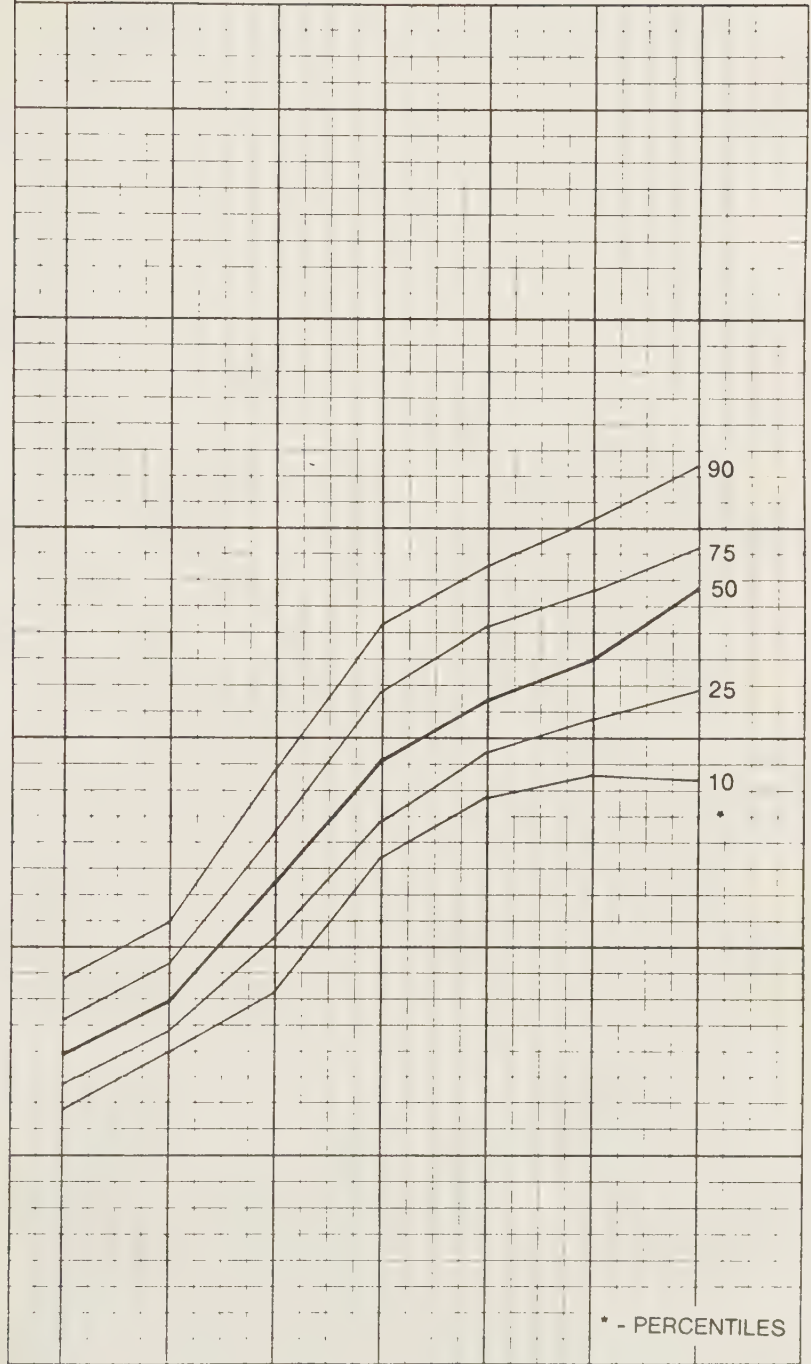
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

AGE (years)

PEFR
(l/min), m.

700

600

500

400

300

200

100

90

75

50

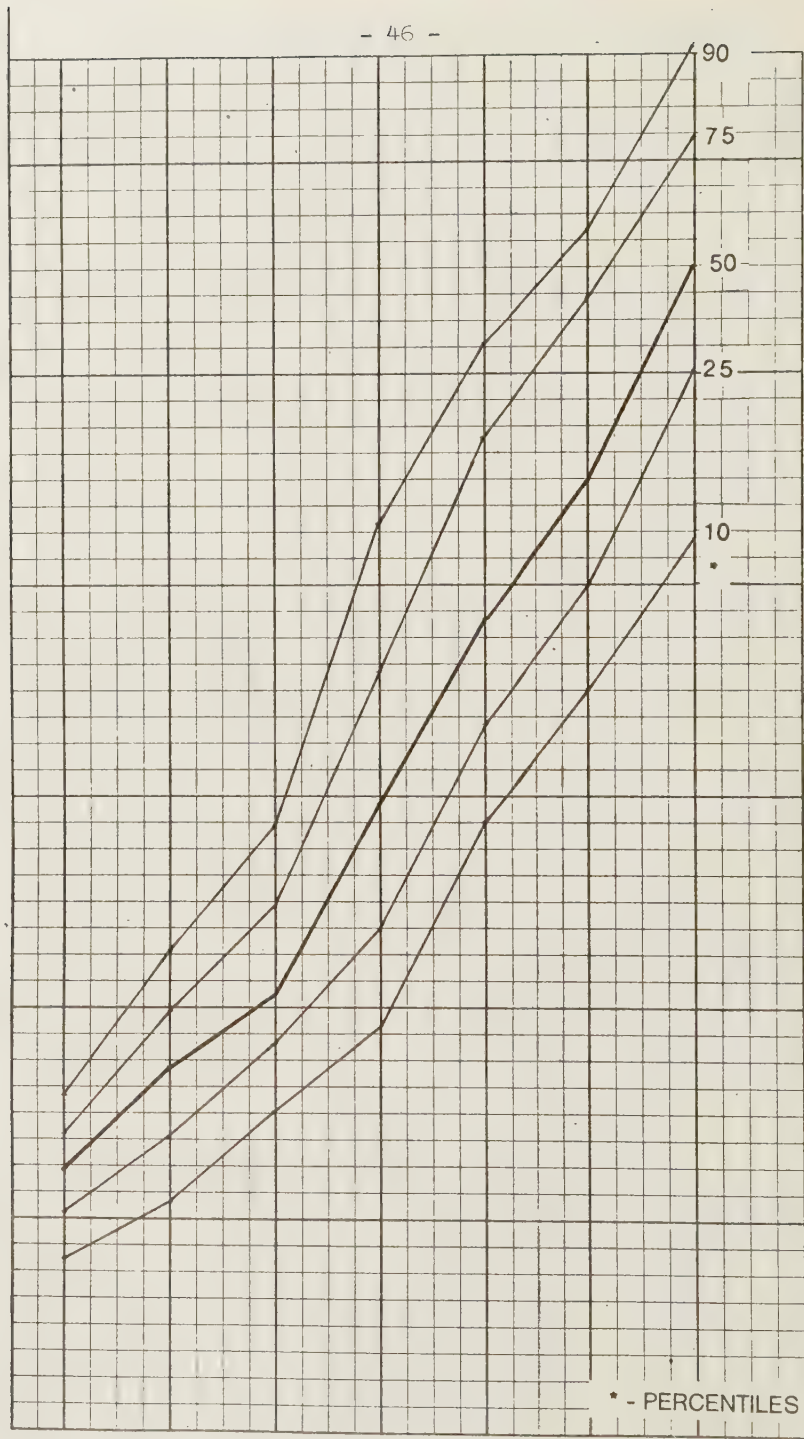
25

10

* - PERCENTILES

6 7 9 11 13 15 17 19

AGE (years)



PEFR
(l/min), f.

600

500

400

300

200

100

0

6

7

9

11

13

15

17

19

AGE (years)

90

75

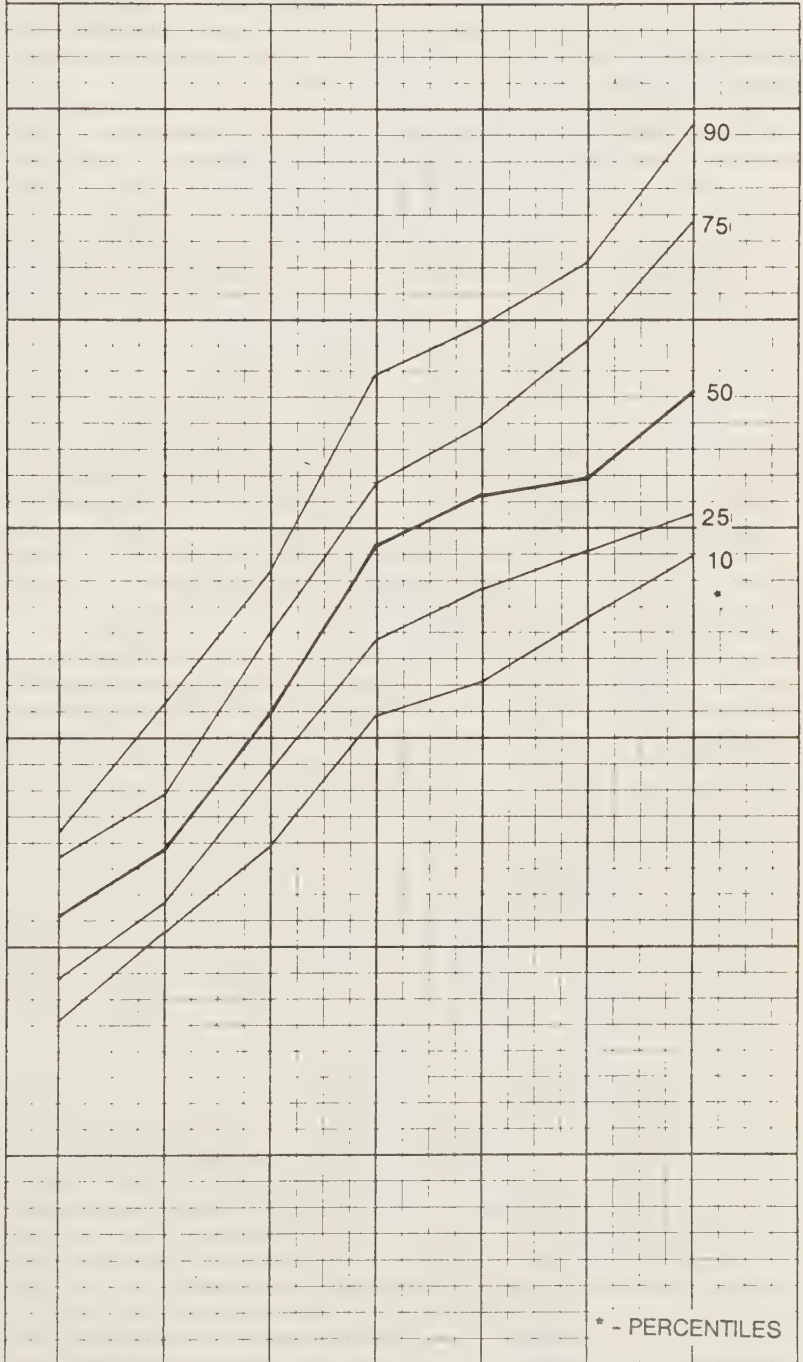
50

25

10

*

* - PERCENTILES



MVV
(l/min), m.

240

200

160

120

80

40

0

6

7

9

11

13

15

17

19

90

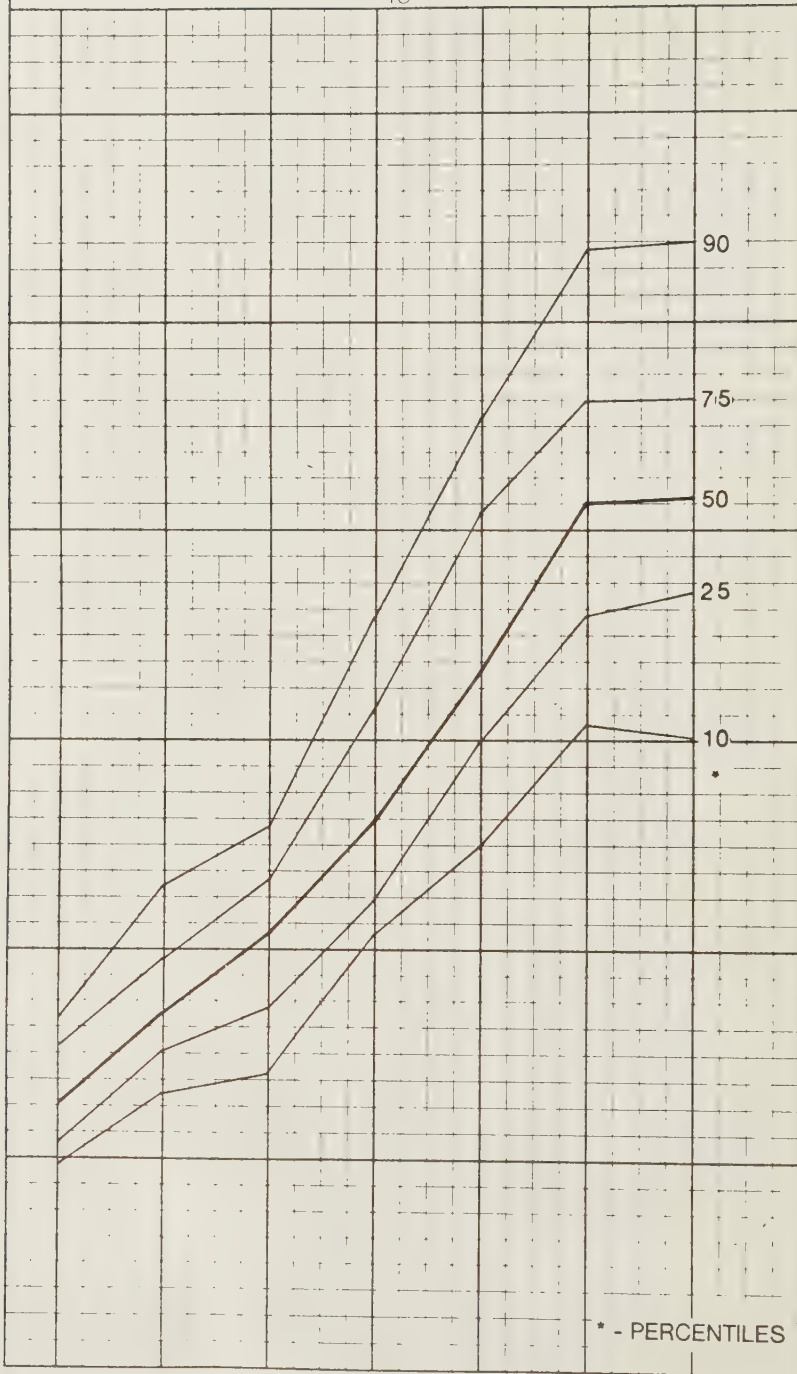
75

50

25

10

* - PERCENTILES



MWV
(l/min), f.

240

200

160

120

80

40

0

6

7

9

11

13

15

17

19

AGE (years)

90

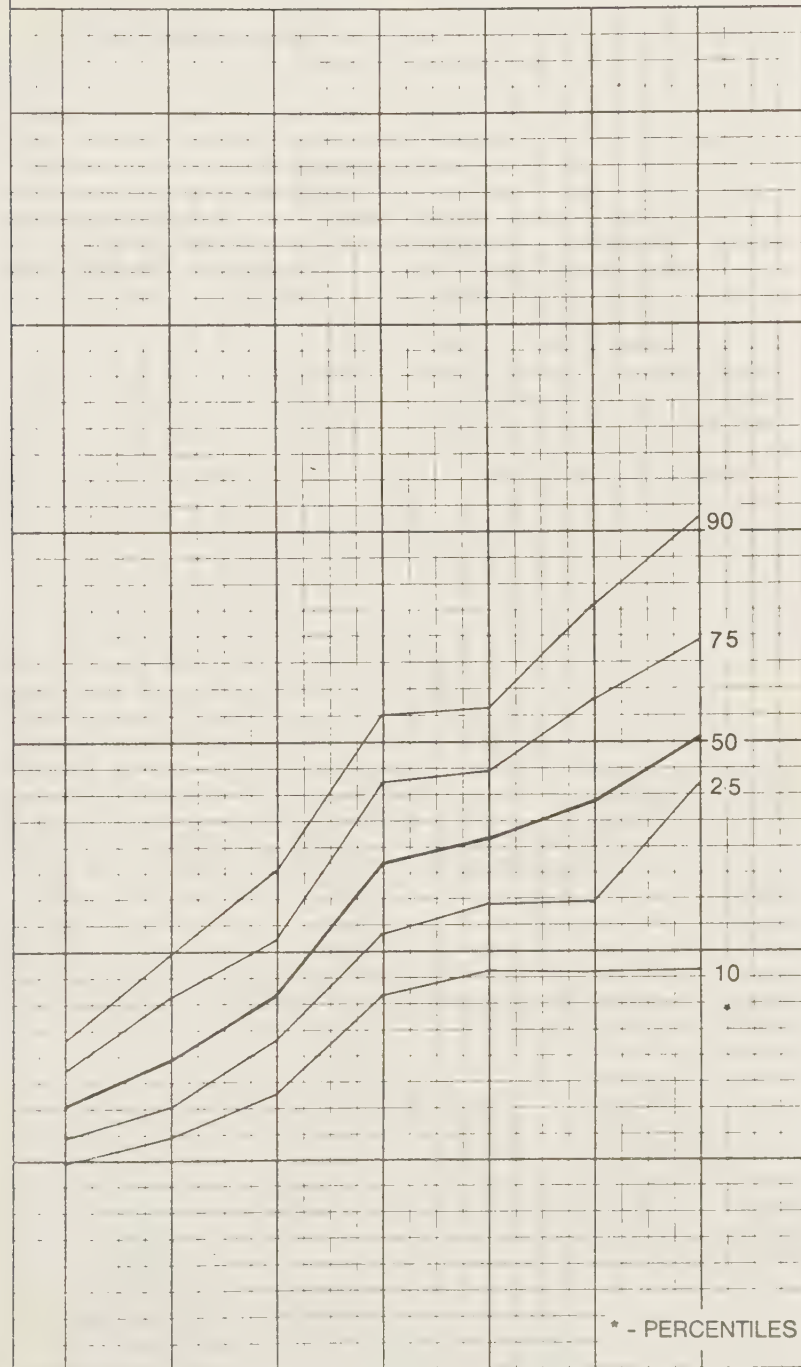
75

50

25

10

* - PERCENTILES



3.2.5. Normkurven nach Gewicht

Werden die verschiedenen Lungenfunktionsgrößen auf das Körpergewicht bezogen, so zeigt sich ein nicht allzu abweichendes Bild im Vergleich zu den Kurven, die nach Größe und Alter erstellt wurden.

Im Gegensatz dazu verläuft allerdings der Anstieg der Werte bei den Knaben in allen Gewichtsgruppen eher kontinuierlich und ist auch im mittleren Bereich (40- 70 kg) nicht verstärkt. Bei den Mädchen mit höherem Gewicht (etwa ab 50 kg) findet man ein gewisses Abflachen der Kurven nach einem bis dahin linearen Anwachsen der Lungenfunktionswerte. Für beide Geschlechter gilt - im Gegensatz zu den Beobachtungen bei Erwachsenen (7) -, daß auch relativ hohes Gewicht (bei Buben über 70 kg, bei Mädchen über 60 kg) noch zu einer Verbesserung der Lungenfunktion führt.

Die Entwicklung von $FEV_{0,5}/FVC$ und $FEV_{1,0}/FVC$, bezogen auf das Gewicht, entspricht im wesentlichen den Beobachtungen im Vergleich zu Größe und Alter: Durchschnittlich höhere Zahlen für Mädchen und leichter bis mäßiger Rückgang der Prozentwerte mit zunehmendem Gewicht (ausgenommen die Relative Ein-Sekundenkapazität bei Mädchen.)

VC
(ml), m.

7000

6000

5000

4000

3000

2000

1000

90

75

50

25

10

*

* - PERCENTILES

15 20

30

40

50

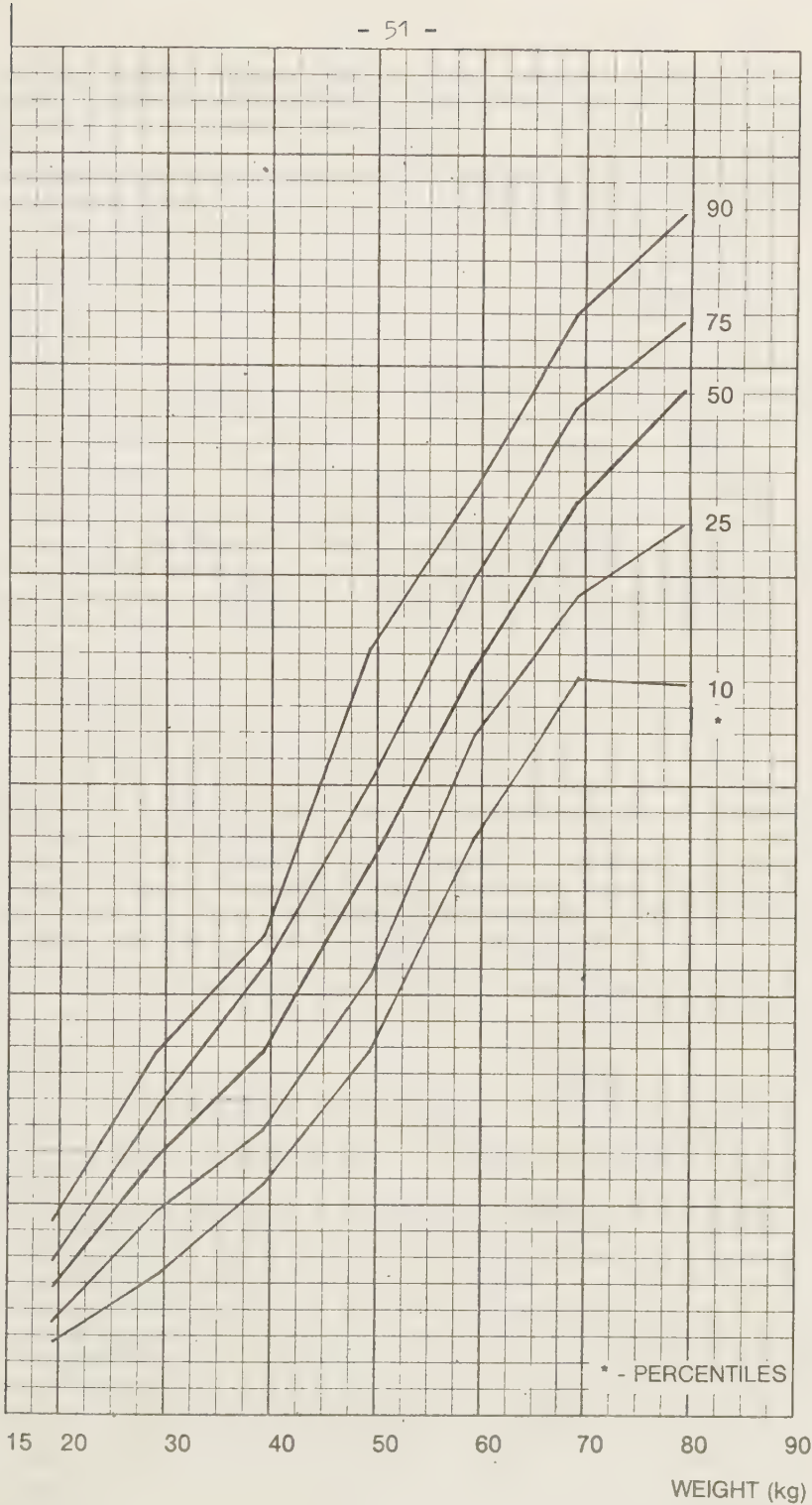
60

70

80

90

WEIGHT (kg)



VC
(ml), f.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

90

75

50

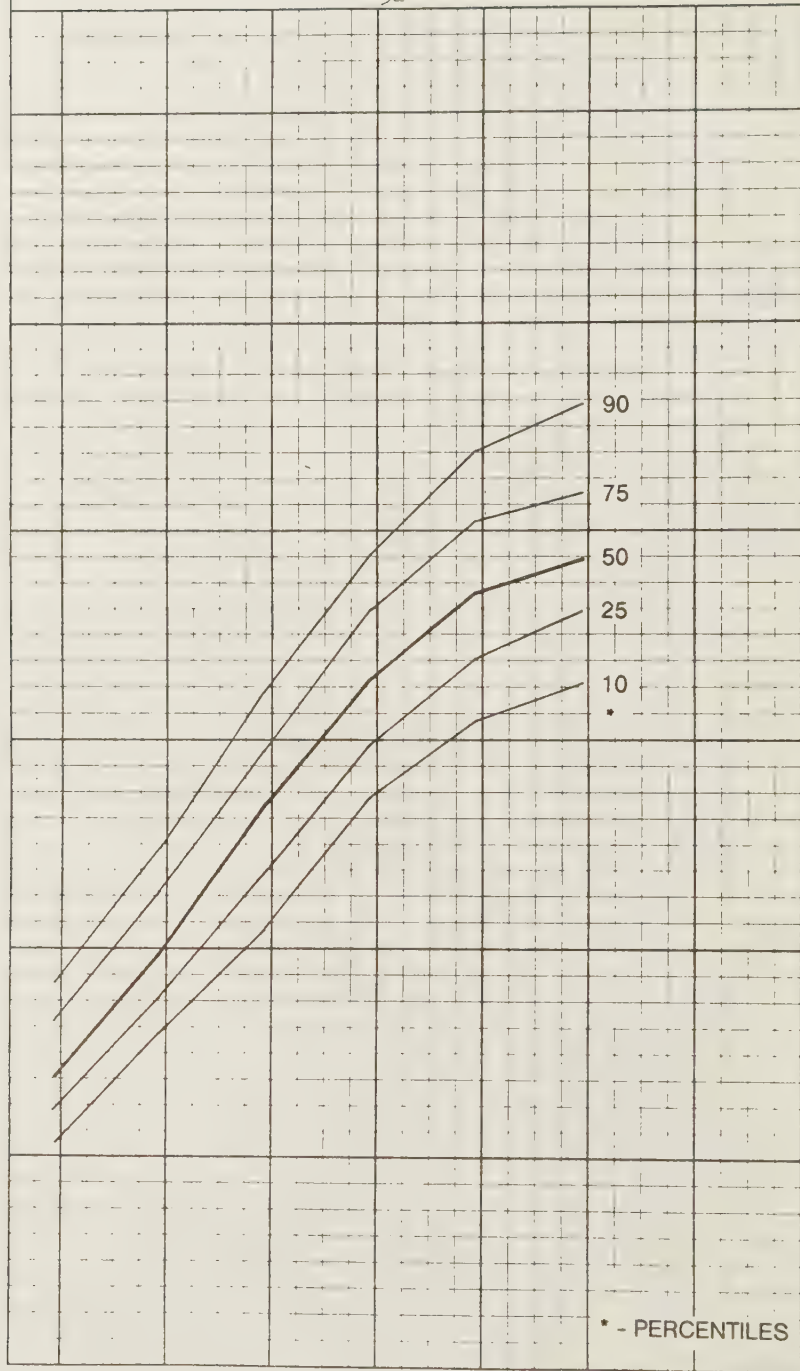
25

10

* - PERCENTILES

15 20 30 40 50 60 70 80 90

WEIGHT (kg)



FVC
(ml), m.
7000

6000

5000

4000

3000

2000

1000

90

75

50

25

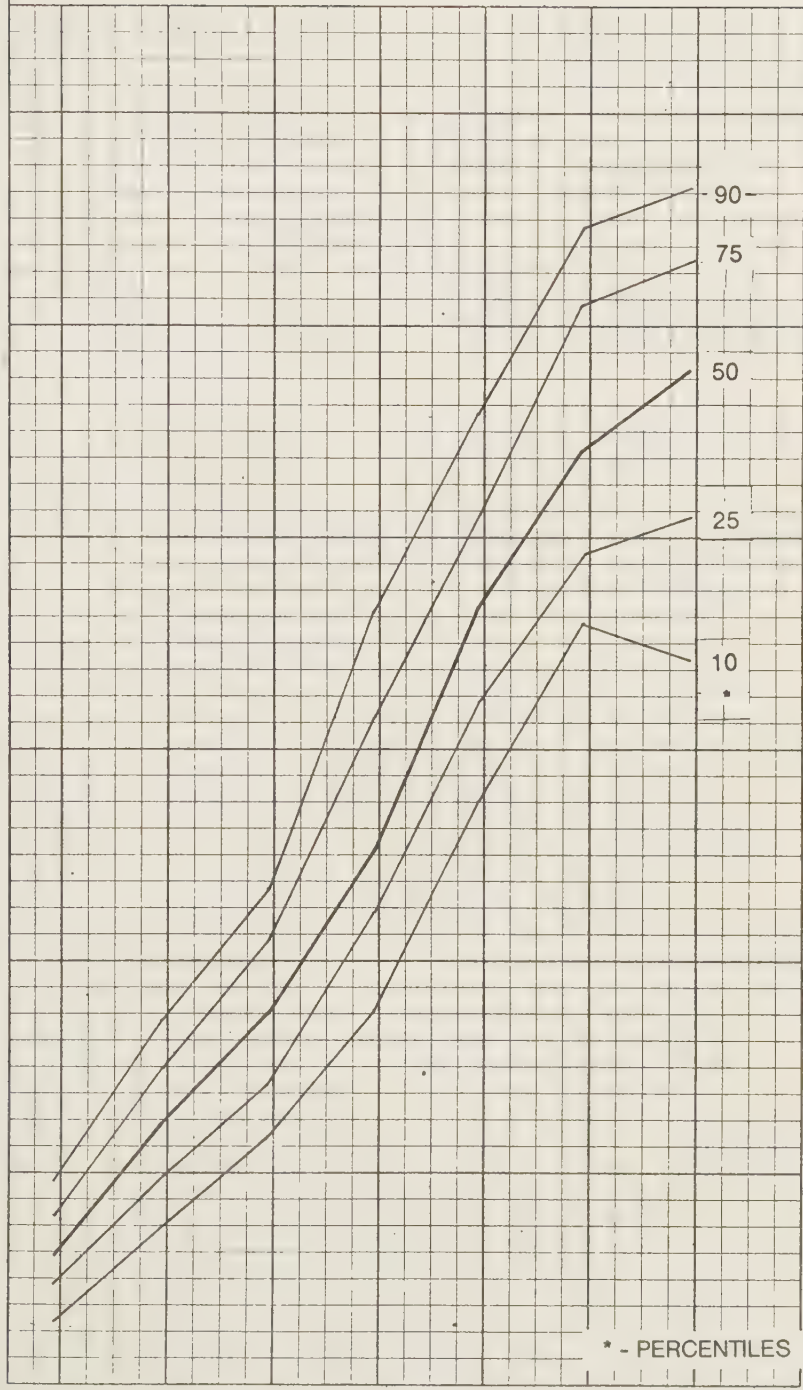
10

*

* - PERCENTILES

15 20 30 40 50 60 70 80 90

WEIGHT (kg)



FVC
(ml), f.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

15 20

30

40

50

60

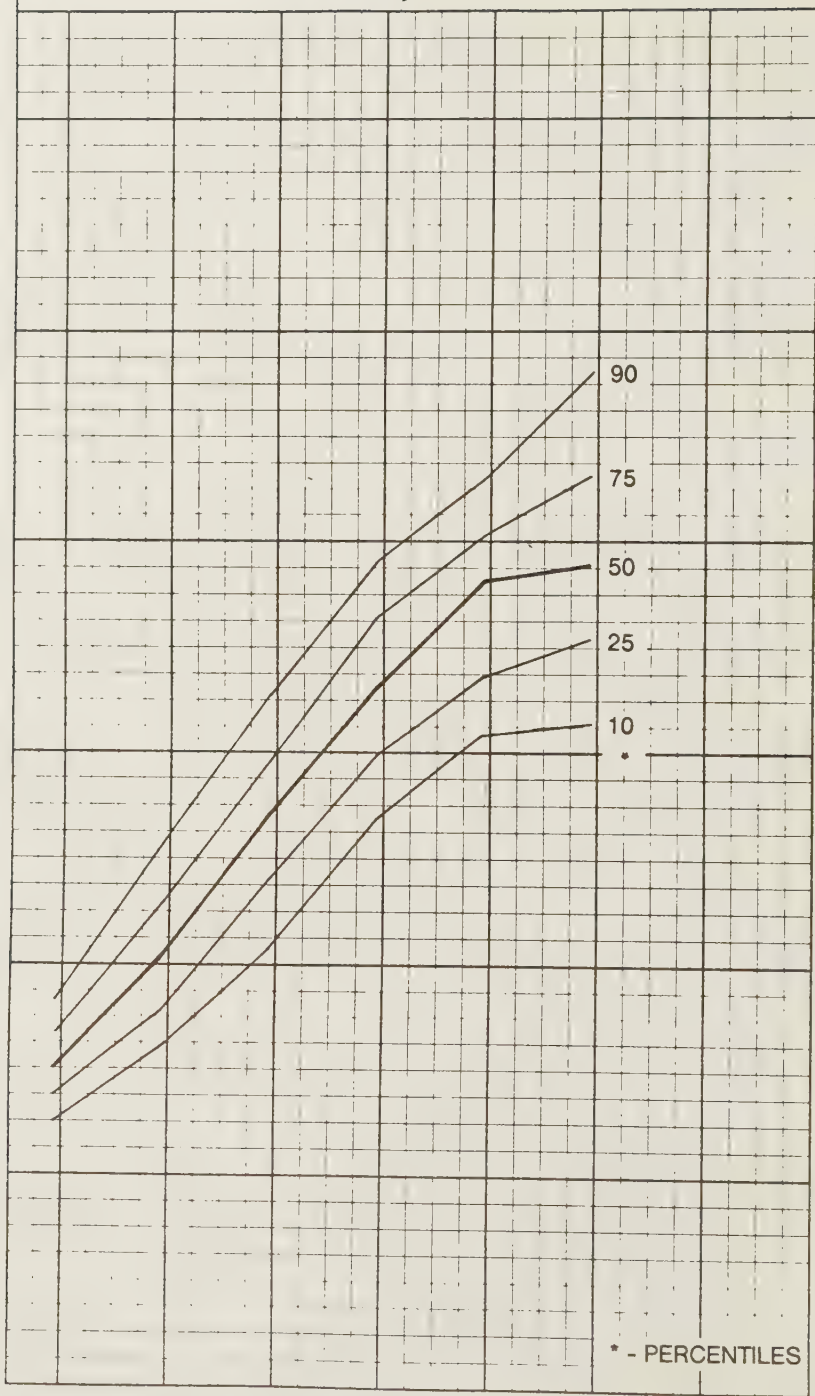
70

80

90

WEIGHT (kg)

* - PERCENTILES



FEV_{0,5}
(ml), m.

6000

5000

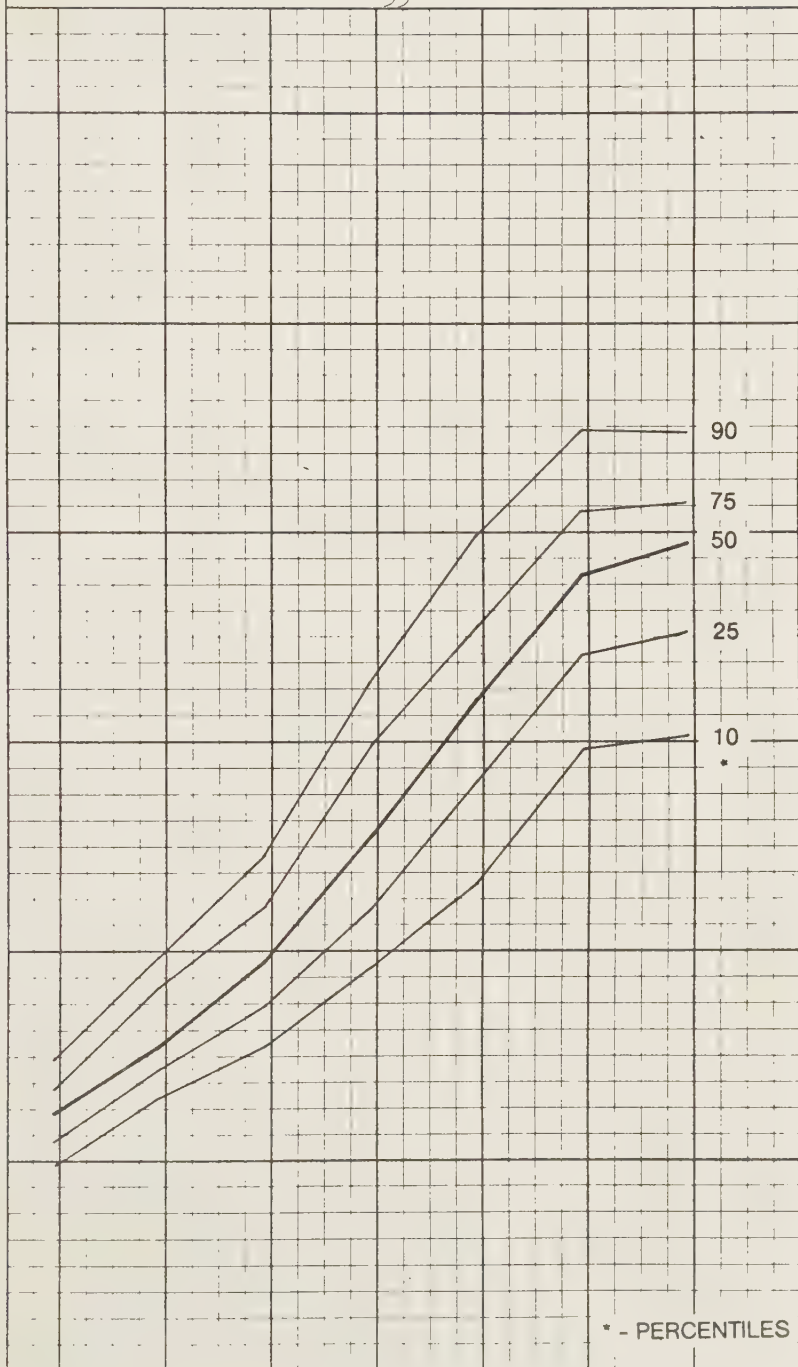
4000

3000

2000

1000

0



* - PERCENTILES

WEIGHT (kg)

FEV_{0,5}
(ml), f.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

15 20

30

40

50

60

70

80

90

WEIGHT (kg)

* - PERCENTILES

90

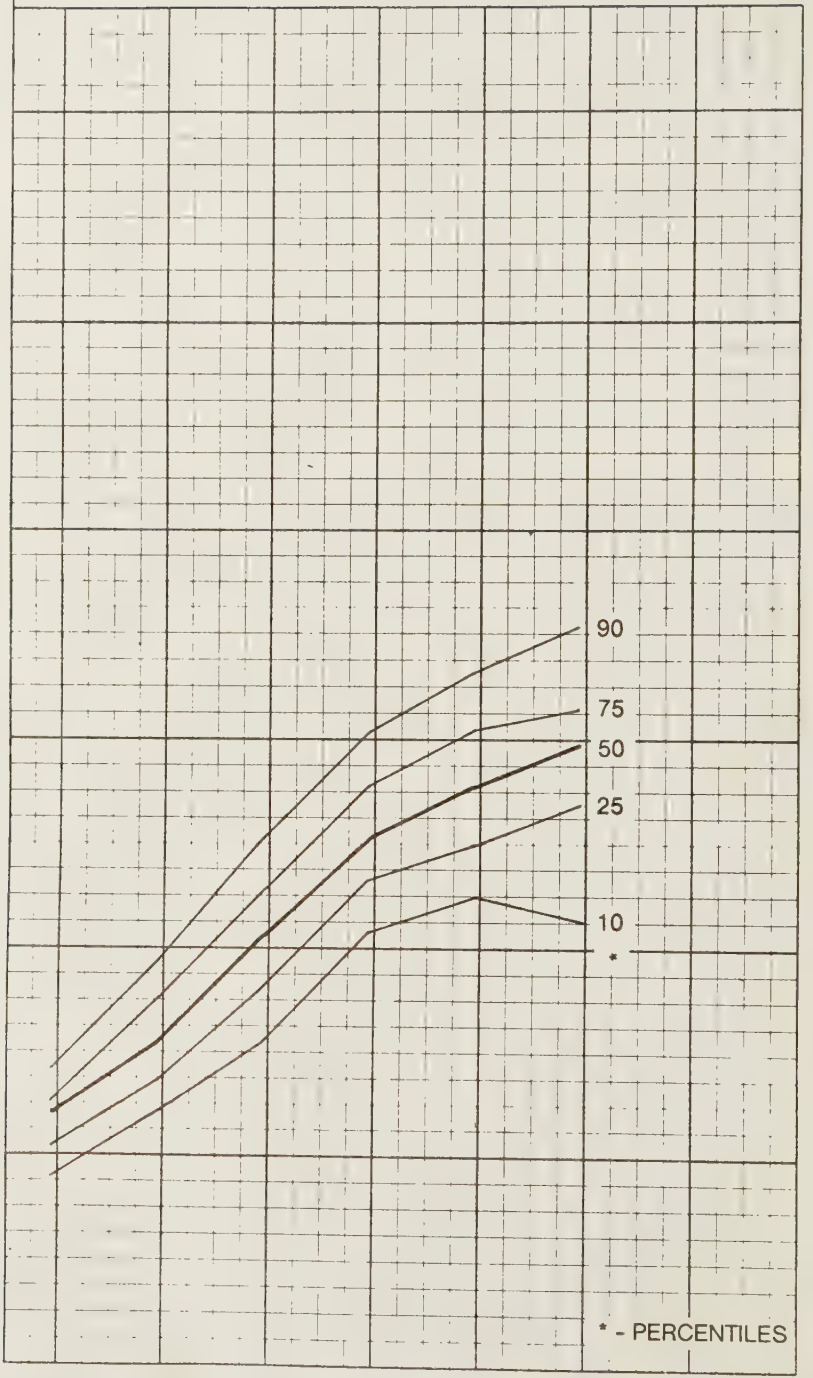
75

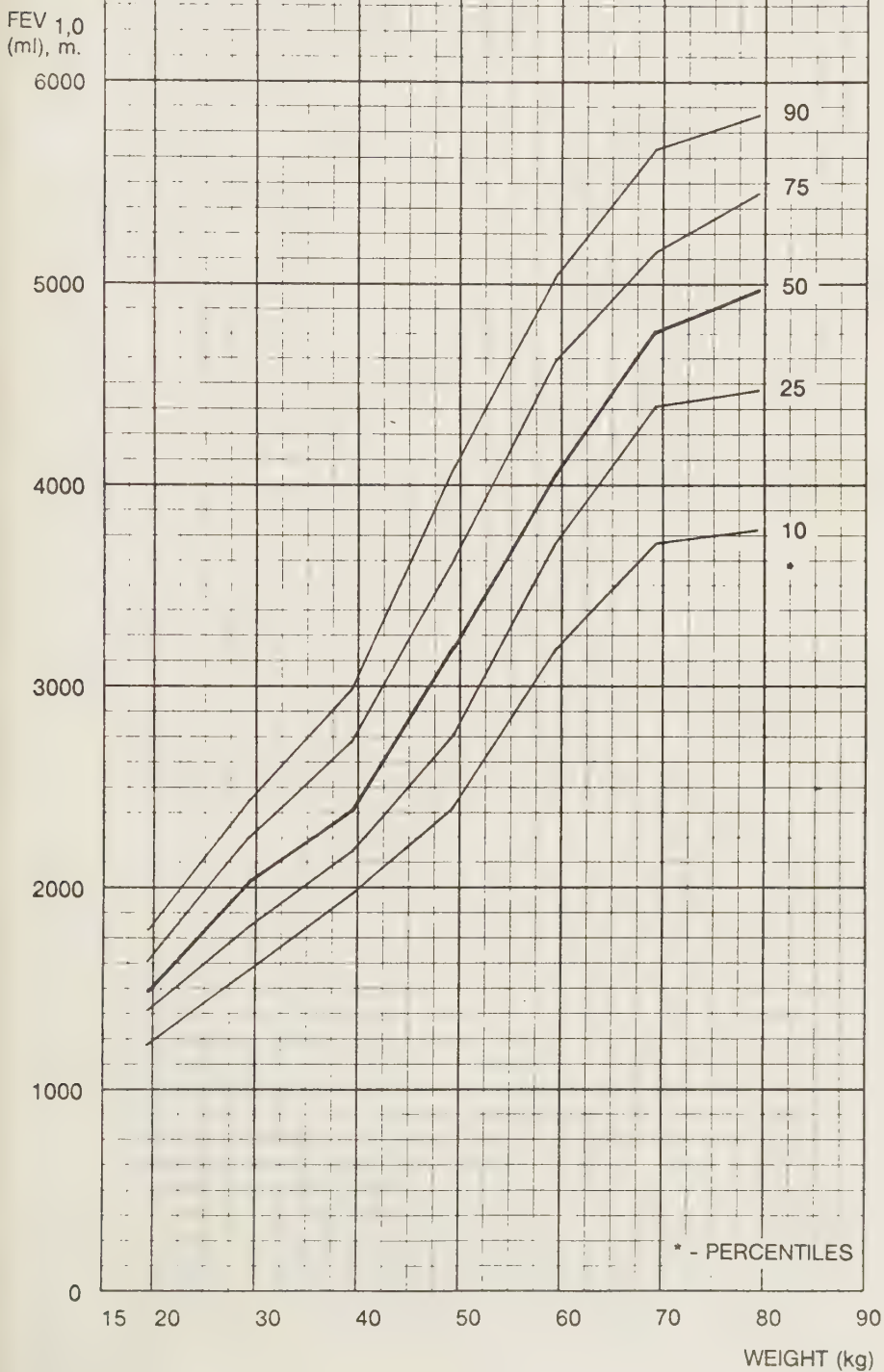
50

25

10

*





FEV_{1,0}
(ml), f.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

15 20

30

40

50

60

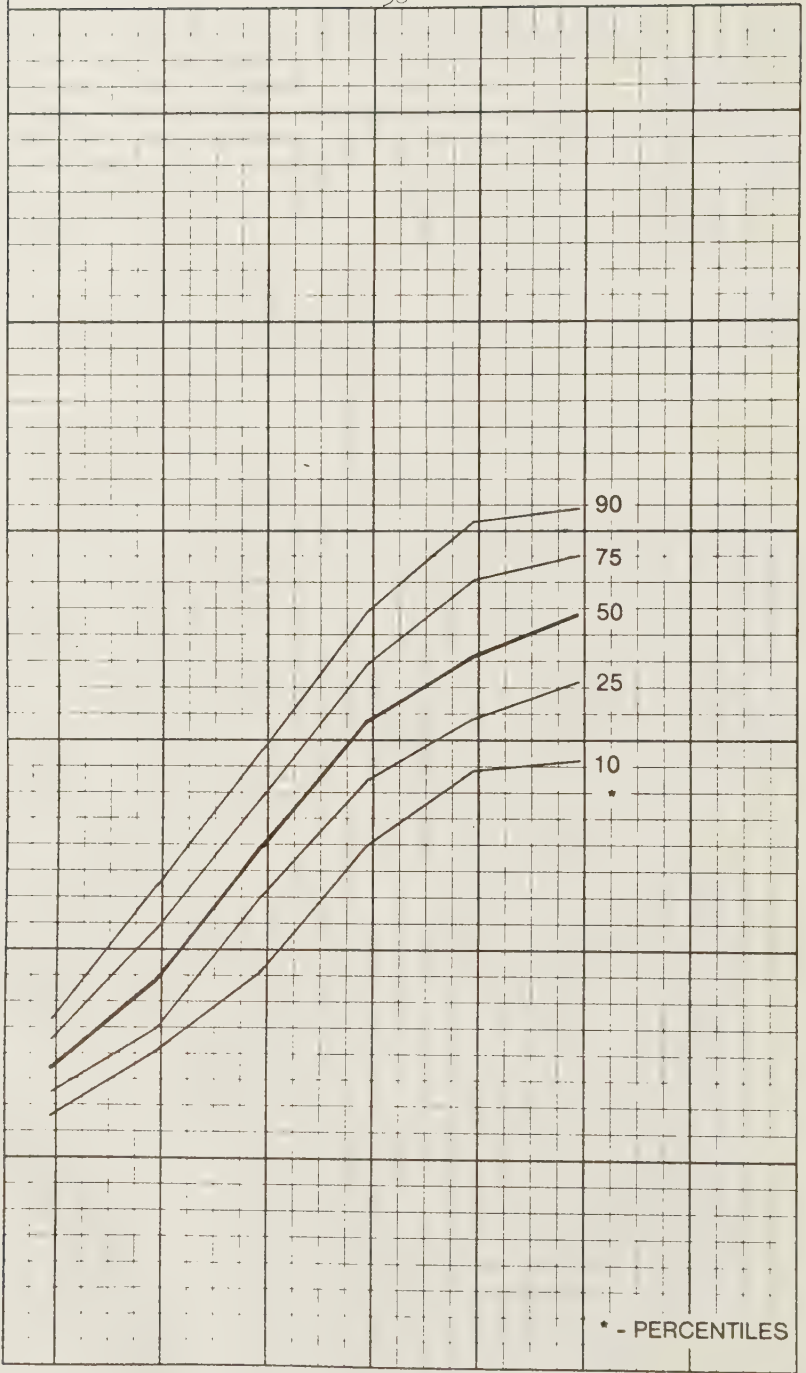
70

80

90

WEIGHT (kg)

* - PERCENTILES



PEFR
(l/min), m.

700

600

500

400

300

200

100

90

75

50

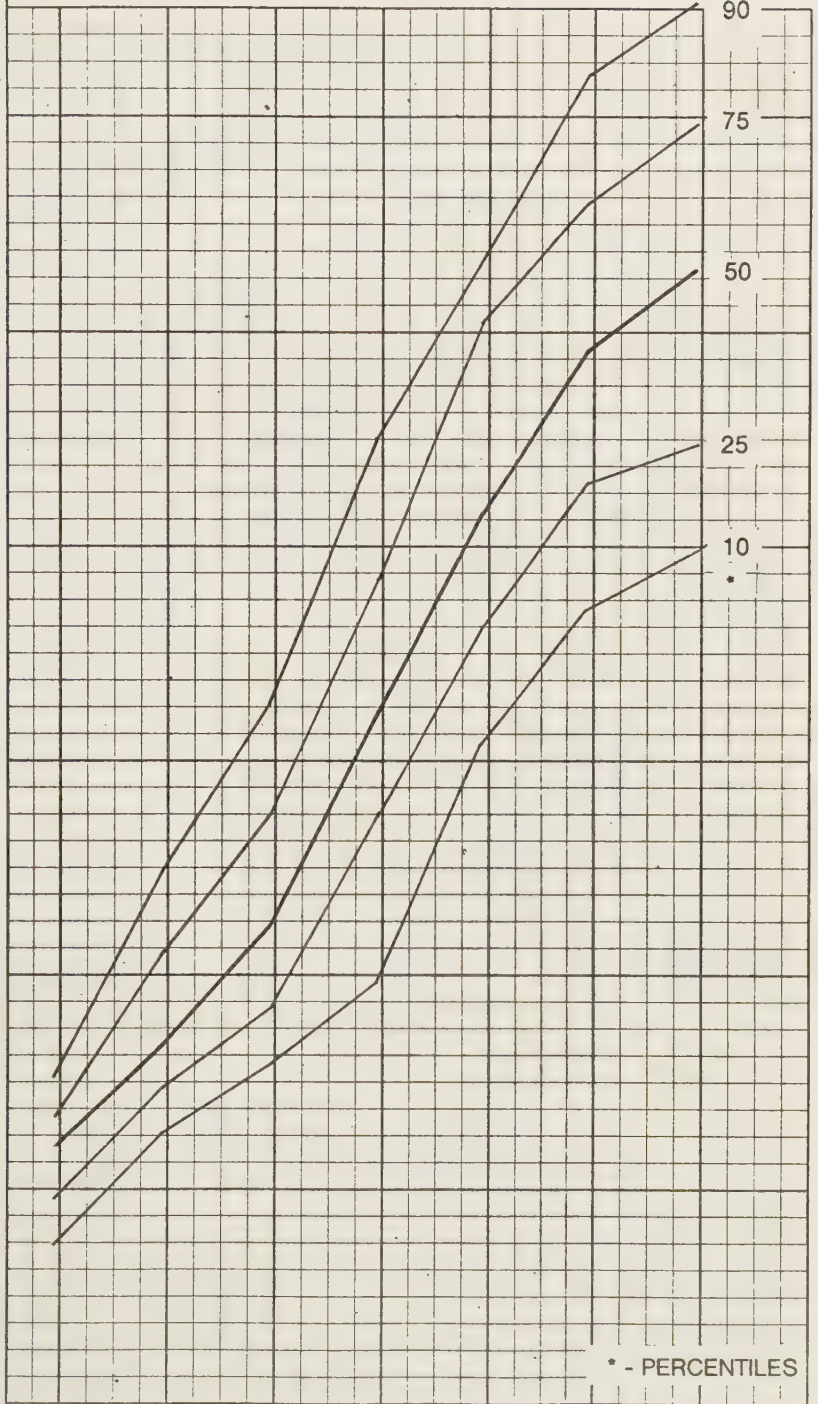
25

10

* - PERCENTILES

15 20 30 40 50 60 70 80 90

WEIGHT (kg)



PEFR
(l/min), f.

600

500

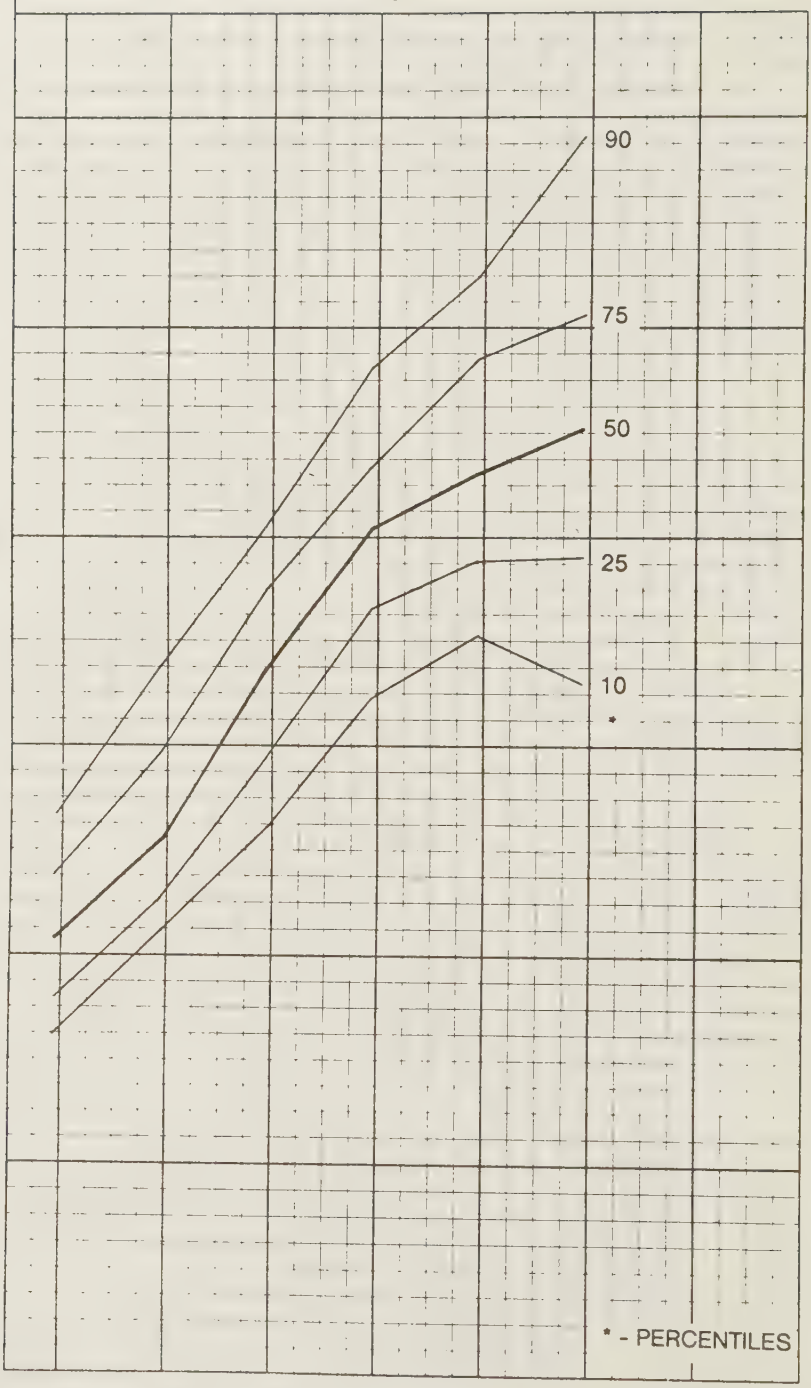
400

300

200

100

0



* - PERCENTILES

WEIGHT (kg)

MVV
(l/min), m.
240

200

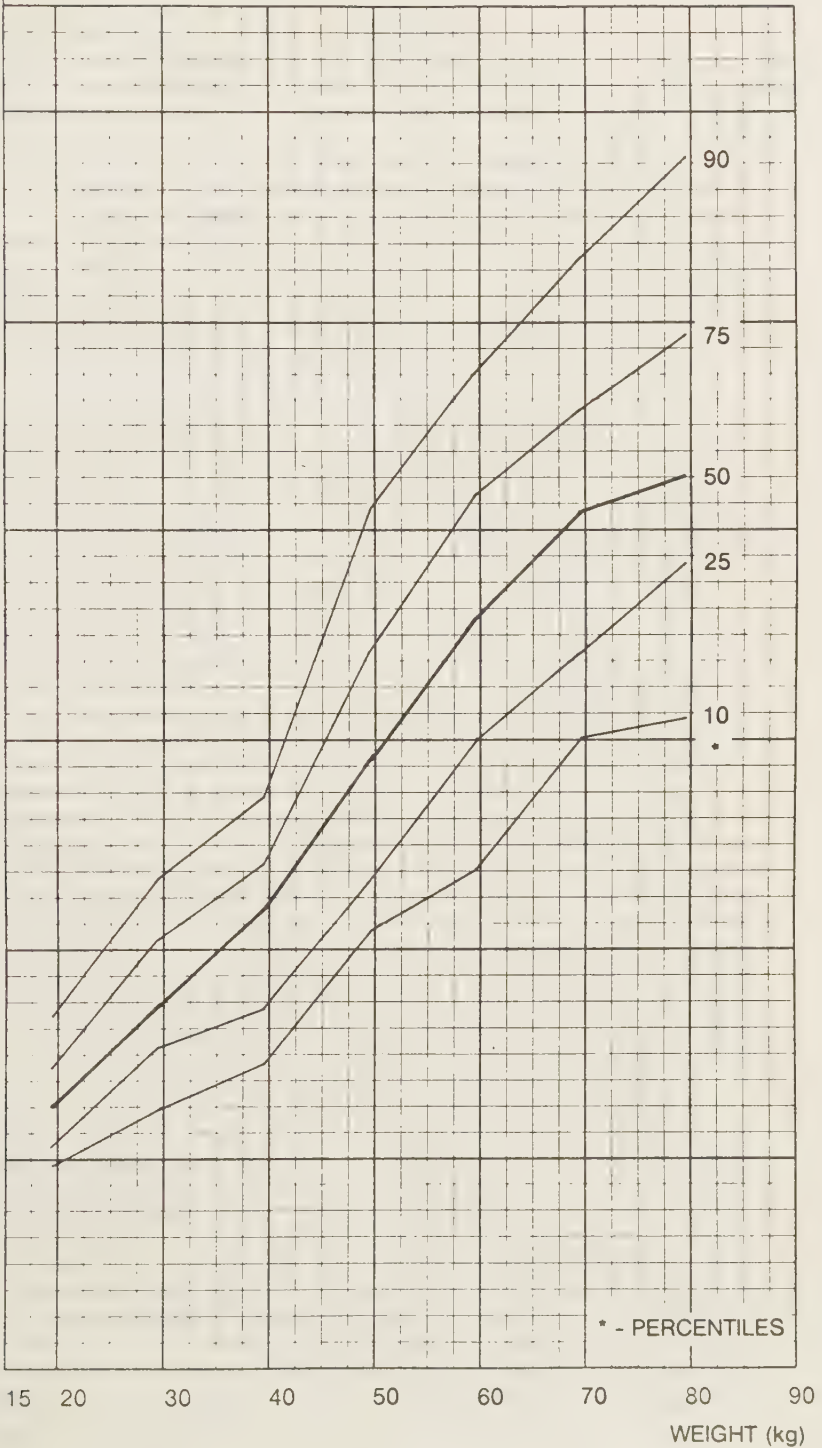
160

120

80

40

0



* - PERCENTILES

MW
(l/min), f.

240

200

160

120

80

40

0

15 20

30

40

50

60

70

80

90

WEIGHT (kg)

90

75

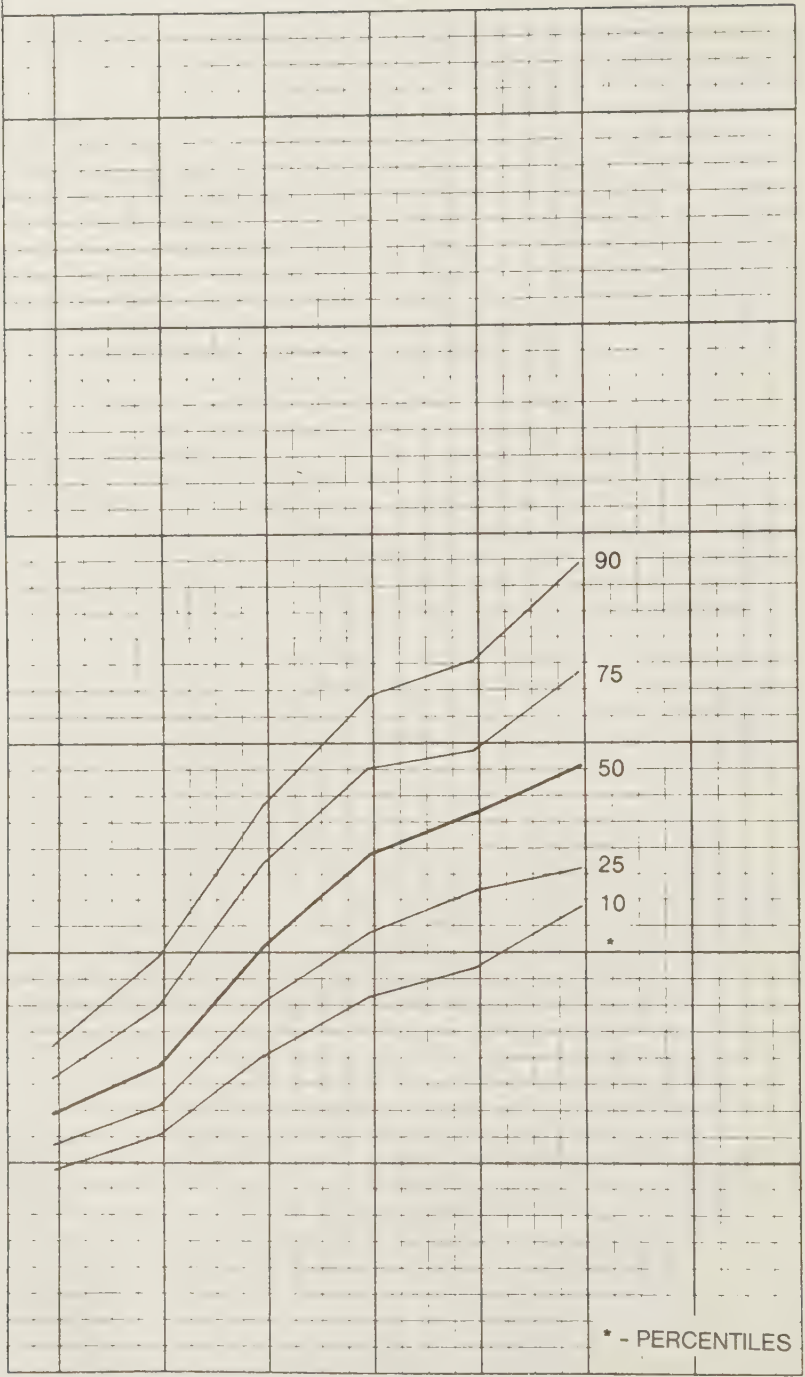
50

25

10

*

* - PERCENTILES



4. Diskussion

4.1. Problematik der Lungenfunktionstestung bei Kindern

In der Pädiatrie stellen sich im Zusammenhang mit Diagnostik und Therapie häufig besondere Probleme, vor allem bei Kleinkindern. Während es bei Erwachsenen (und auch bei Heranwachsenden) in der Regel gelingt, dem Probanden den Sinn und den Ablauf der jeweiligen Untersuchung (bzw. Therapie) klarzumachen und ihn damit für eine Mitarbeit zu gewinnen, ist dies bei kleineren Kindern oft mit großen Schwierigkeiten verbunden.

Im Falle von Lungenfunktionstests kommt dabei die Problematik hinzu, daß vom Probanden eine aktive Mitarbeit gefordert wird, um überhaupt ein vernünftiges und verwendbares Ergebnis zu bekommen (in unserem Fall z.B. maximale Expiration über mehrere Sekunden.) Dies zu erreichen, ist wesentlich diffiziler als bei Untersuchungen, bei denen der Patient "nur" passiv etwas über sich ergehen lassen muß (z.B. RR-Messung.)

Neben der Motivation der Kinder (d.h. sie dazu zu bringen, die Untersuchung überhaupt aktiv mitzumachen) ist vor allem von Bedeutung, den Ablauf der Tests zu üben, um verwertbare Ergebnisse zu bekommen.

Insofern ist leicht einzusehen, daß eine Durchführung dieser Tests mit Kleinkindern auf fast unüberwindliche Schwierigkeiten stößt. Erst mit einem Alter von etwa fünf Jahren kann deshalb nach allgemeiner Erfahrung die hier beschriebene Diagnostik beginnen (47). Dabei muß berücksichtigt werden, daß auch vereinzelt bei älteren Kindern keine gültigen Ergebnisse erhoben werden können.

All diese genannten Probleme stellen an den Untersucher hohe Anforderungen. Hier seien nur einige genannt:

Neben der Grundvoraussetzung mit Kindern Kontakt aufnehmen zu können, sollte sich der Untersucher durch Freundlichkeit und vor allem Geduld und gute Beobachtungsfähigkeit auszeichnen. Selbstverständlich muß er auch in der Lage sein, den Versuchsablauf in einfachen klaren Worten zu schildern, wobei es insbesondere bei kleinen Kindern von Vorteil sein kann, die ganze Unternehmung spielerisch zu gestalten (Kerzen ausblasen!). Je besser dies alles gelingt, desto "besser" (d.h. exakter) werden auch die Ergebnisse sein.

Nicht übersehen sollte man dabei, daß es auch bei jugendlichen Versuchspersonen Schwierigkeiten bereiten kann, die nötige Motivation und Mitarbeit zu erreichen. Die Testergebnisse derjenigen Probanden, bei denen dies ganz offensichtlich nicht gelang, wurden nicht berücksichtigt. Trotz der beschriebenen Schwierigkeiten und Probleme zeigten die Meßwerte der wiederholten Atemmanöver unter den genannten Bedingungen eine hohe Übereinstimmung für die jeweilige Versuchsperson.

4.2. Art der Auswertung

Angeichts der vielfältigen Darstellungsmöglichkeiten von Normwerten bzw. -bereichen erwies sich die Entscheidung über die Art der Auswertung als nicht einfach.

Polgar hat in seiner Veröffentlichung aus dem Jahr 1971 auf die verschiedenen Möglichkeiten hingewiesen (56):

Üblich sind die Errechnung von Mittelwerten, sowie die Berechnung der Normkurven mittels Regression, jeweils in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern wie Größe, Alter oder Körperoberfläche, bzw. Kombinationen dieser Parameter. Eine noch engere Relation versucht man dabei auch durch die Einführung von Potenzen herzustellen (z.B. Größe³). (57) Die Grenzen der Normalität sollen dabei durch die Standardabweichung (bzw. zweifache oder dreifache Standardabweichung) markiert werden.

Nach wie vor umstritten ist dabei freilich, welche Methode die exaktesten Ergebnisse liefert, bzw. wie Normwerte und "krankhafte" Werte voneinander abzugrenzen sind.

Auch auf einer Konferenz der "Cystic Fibrosis Foundation Of America", die sich mit dem Thema der Standardisierung von Lungenfunktionstests bei Kindern befaßte, wurde keine Empfehlung für eine bestimmte Auswertungsmethode gegeben (65). Wir entschieden uns für die Darstellung der Normwerte mittels Perzentilkurven, wobei die 50 % Perzentile dem (geometrischen) Mittelwert entspricht. Die jeweiligen Perzentilwerte wurden - nach Geschlechtern getrennt - für einen genau abgegrenzten Altersbereich ermittelt. Diese Art der Auswertung findet sich in der Literatur bisher nur an wenigen Stellen. So wurden 1973 nach dieser Methode von Schlesinger in Israel die Lungenfunktionswerte von 2684 erwachsenen Männern über 45 Jahren ermittelt (62).

Bekannter sind die von Tanner et al. erstellten Wachstumskurven (jeweils bezogen auf das Alter)(64).

Die wesentliche Begründung für die Wahl dieser Methode liegt in der Tatsache, daß in einer Beobachtung der Lungenfunktion über eine längere Lebensspanne (bzw. Größendistanz) kein rein linearer Anstieg der Werte zu erwarten ist. Der Versuch durch die Einführung von Potenzen (also Größe² bzw. Größe³ im Vergleich zur Lungenfunktion) eine einfache lineare Beziehung zu erhalten, erwies sich als unrealistisch (57).

Auch durch die Errechnung von Regressionsgleichungen erfolgt eine zu starke Simplifizierung, wie Polgar 1979 feststellt (57). Die Ergebnisse dieser Arbeit haben - gerade im Hinblick auf die unterschiedliche Wachstumsgeschwindigkeit während der Pubertät - diese Überlegungen bestätigt.

Gegen die Darstellung in Form einer Regression spricht auch die Tatsache, daß biologische Größen (in der Regel) nicht normalverteilt sind (60), wengleich die Abweichungen meist nur gering ausfallen. Eine Normalverteilung ist aber - mathematisch gesehen - die Voraussetzung für eine Regressionsanalyse (60).

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der "Perzentilmethode" ist die Möglichkeit, die von den Probanden erzielten Ergebnisse besser einordnen zu können. Der Vergleich mit den verschiedenen Perzentilen bietet in jedem Fall mehr Informationen als ein pauschaler Vergleich mit einem Sollwert (=Mittelwert), bzw. allenfalls noch mit einem Grenzwert (ausgedrückt durch die zweifache Standardabweichung), wie er in vielen Darstellungen gebräuchlich ist.

Um zu einem vernünftigen Ergebnis zu kommen, ist für eine Untersuchung nach der "Perzentilmethode" eine relativ hohe Zahl von Testpersonen notwendig.

4.3. Korrelationskoeffizienten - Vergleich mit anderen Autoren

Bei dem sog. Korrelationskoeffizienten handelt es sich um ein Maß für die Straffheit des wechselseitigen Zusammenhangs zwischen zwei Größen (68). Der KK kann maximale Werte von + 1 oder - 1 annehmen. In diesen Fällen besteht ein streng linearer Zusammenhang zwischen den verglichenen Werten. Nähert er sich dagegen 0, so wird ein Zusammenhang zwischen den Größen immer unwahrscheinlicher.

Ziel der Errechnung der Korrelationskoeffizienten war es, herauszufinden, welche der drei Vergleichsgrößen (Alter, Größe, Gewicht) am engsten mit den Lungenfunktionsparametern zusammenhängen, d.h. welche der Bezugsgrößen sich am besten für die Messungen und die praktische Anwendung eignet.

Wie bereits dargestellt, erwies sich die Größe auf Grund unserer Berechnungen als bester Maßstab.

Um dieses Ergebnis abzusichern, erfolgt im weiteren ein Vergleich der eigenen Korrelationskoeffizienten mit den Zahlen, die von anderen Autoren veröffentlicht wurden.

Es handelt sich dabei um insgesamt sechs Untersuchungen der letzten 15 Jahre aus ganz verschiedenen Ländern, wobei die Zahl der Probanden von 89 bis 3420 reicht (18, 16, 19, 40, 41, 66, 72).

Tabelle 6

Autor	Land	Jahr	Anzahl	Gerät	
Dugdale a	Australien	1967	261	Spirometer ("Vitalor" Mc Kerson), Wright Peak Flow Meter	(18)
Dickman d	USA	1971	950	Collins Spirometer	(16)
Düggelin s	Schweiz	1980	89	druckkonstanter Ganzkörperplethysmograph	(19)
Weng w	USA	1969	139	keine Angabe	(72)
Thiemann t	DDR	1976	3 420	Spirotest	(66)
Hsu h	USA	1979	1 805	Roll-seal type Spirometer Wright Peak Flow Meter	(40,41)

Tabelle 7 Korrelationskoeffizienten
(eigene Werte - Vergleichswerte)

	VC	FVC	FEV _{0,5}	FEV _{1,0}	PEFR
Alter	m	0,90 0,848 ^t 0,76 ^s	0,89 0,91 ^d 0,712 ^a 0,94 ^h	0,89 0,91 ^d 0,711 ^a 0,831 ^t 0,94 ^h 0,88 ^d	0,86 0,718 ^a
	f	0,81 0,843 ^t 0,68 ^s	0,79 0,89 ^d 0,749 ^a 0,86 ^h	0,81 0,719 ^a 0,719 ^t 0,832 ^h 0,94 ^h	0,75 0,762 ^a
Größe	m	0,92 0,922 ^t 0,83 ^s	0,92 0,94 ^d 0,835 ^a	0,91 0,94 ^d 0,816 ^a 0,906 ^t	0,86 0,766 ^a
	f	0,85 0,926 ^t 0,83 ^s	0,83 0,91 ^d 0,807 ^a	0,85 0,91 ^d 0,778 ^a 0,917 ^t	0,75 0,712 ^a
Gewicht	m	0,92 0,868 ^t	0,91 0,93 ^d 0,779 ^a	0,90 0,93 ^d 0,773 ^a 0,856 ^t	0,86 0,737 ^a
	f	0,83 0,895 ^t	0,82 0,90 ^d 0,799 ^a	0,82 0,89 ^d 0,752 ^a 0,883 ^t	0,72 0,666 ^a
VC	m			0,97 0,95 ^w	0,90 0,83 ^w
	f			0,95	0,81
FVC	m		0,95 0,873 ^a	0,98 0,99 ^d	0,90 0,748 ^a
	f		0,89 0,769 ^a	0,95 0,99 ^d 0,959 ^a 0,939 ^a	0,80 0,730 ^a 0,94 0,860 ^a
FEV _{0,5}	m			0,96	0,88
	f			0,92 0,869 ^a	0,765 ^a
FEV _{1,0}	m				0,92 0,810 ^a
	f				0,85 0,767 ^a

eigene Werte: jeweils erste Spalte

Die Vergleichbarkeit ist allerdings zum Teil etwas eingeschränkt: Von Düggelin (19) wurden nur 8 - 12 jährige Kinder untersucht, Dugdale (18) erfaßte nur 6 - 12 jährige und ermittelte außerdem die Korrelationskoeffizienten nach logarithmischer Umwandlung der Daten und Meßwerte. Andererseits veröffentlichte er sehr viele verschiedene Korrelationskoeffizienten, so daß seine Ergebnisse trotzdem in die Tabelle mit aufgenommen wurden.

Der Versuch durch Einführung anderer komplizierter Vergleichsgrößen (z.B. Körperoberfläche, Größe² oder Größe³) engere Korrelationen zu erreichen, erweist sich hier als zwiespältig. Zwar erreicht man dadurch zum Teil durchaus höhere Korrelationskoeffizienten, doch geht das ganze Verfahren zweifellos auf Kosten der einfacheren Reproduzierbarkeit. Bei Einführung von Potenzen wirken sich zum Beispiel Meßfehler sehr viel gravierender aus. Ebenso wenig kann man bei Heranziehung der Körperoberfläche als Vergleichsmaßstab (sie wird meist aus Tabellen abgelesen) die individuelle Streuung der Werte beim Einzelnen berücksichtigen. Aus diesen Gründen wurde in der vorliegenden Untersuchung auf die Verwendung derartiger Vergleichsgrößen verzichtet.

Die Vergleichszahlen zeigen, daß sämtliche aufgeführten Autoren ebenfalls enge Korrelationen der gemessenen Lungenfunktionsgrößen mit Alter, Größe und Gewicht ermittelten. Die eigenen Werte stimmen am besten mit den von Dickman (16) veröffentlichten Zahlen überein. Daß dort für die Größenmessung eine andere Einheit verwendet wurde (inches statt cm), hat bekanntlich auf die Errechnung der Korrelationskoeffizienten keinen Einfluß (68). Bei den Mädchen ermittelte Dickman allerdings deutlich höhere Korrelationen. Dagegen finden sich im Vergleich zu zwei Untersuchungen aus dem mitteleuropäischen Raum (66,19) größere Unterschiede.

Die niedrigsten Korrelationen errechnete Dugdale (18), obwohl dieser zur Ansicht gelangte, die logarithmische Umwandlung der Daten würde höhere Werte ergeben. Insgesamt gesehen liegen die eigenen Zahlen eher am oberen Ende der Skala.

Für den Zusammenhang der verschiedenen Lungenfunktionsgrößen untereinander liegen leider nur wenige Vergleichszahlen vor. Die von Weng (72) veröffentlichten Korrelationskoeffizienten beziehen sich nur auf alle Probanden zusammen, sind also nicht nach Geschlechtern getrennt aufgeführt. Im Vergleich zu Dugdale (18) ergeben sich in der eigenen Untersuchung wiederum deutlich höhere Korrelationen. Einen sehr engen Zusammenhang ermittelten Dugdale, Dickman und Weng (18, 16, 72) aber ebenso wie wir für $FVC - FEV_{1,0}$ sowie $VC - FEV_{1,0}$. Außerdem bestätigt sich bei Dugdale die relativ hohe Korrelation von $PEFR$ und $FEV_{0,5}$.

Auffallend sind auch bei den Vergleichsstudien die Unterschiede der Korrelationskoeffizienten bei Mädchen und Buben. Allerdings fallen diese Diskrepanzen zum Teil sehr viel geringer aus als es unseren eigenen Beobachtungen entspricht. Findet man bei Dickman (16) durchgehend noch leichte Differenzen (im Durchschnitt bei FVC und $FEV_{1,0}$: 0,03; eigene Untersuchung: 0,08), ebenso zum Teil auch bei Düggelin (19) und Hsu (40,41), so zeigen die Zahlen von Thiemann (66) für Mädchen überwiegend sogar höhere Korrelationen als für Buben. Die Werte von Dugdale (18) bieten ein eher uneinheitliches Bild, was diese Unterschiede betrifft, doch erreichen die Buben hier in den meisten Fällen höhere Korrelationen als die Mädchen. Wie sind nun die in der Regel geringeren Korrelationen für das weibliche Geschlecht zu erklären?

Ein Grund dafür ist sicher die größere Streuung der Werte innerhalb einer Größen-, Alters- oder Gewichtsgruppe bei den Mädchen (siehe auch die entsprechenden Normkurven!)

Generell ist die Streuung biologischer Parameter für das weibliche Geschlecht breiter.

Dies allein erklärt aber die Unterschiede sicher noch nicht ausreichend. Betrug die durchschnittliche Differenz der Korrelationskoeffizienten von Mädchen und Buben bei Alter, Größe und Gewicht 0,05, so stieg sie bei den Lungenfunktionswerten (VC, FVC, $FEV_{0,5}$, $FEV_{1,0}$, PEF, MVV) auf 0,1.

Im Gegensatz zu Alter, Größe und Gewicht ist die Ermittlung der Spirometerwerte abhängig von Motivation und Kooperationsbereitschaft der Untersuchten. Offensichtlich gelingt es nicht, diese Dinge beim weiblichen Geschlecht in ähnlicher Weise zu erreichen wie beim männlichen. Für diese Annahme sprechen vor allem die auffallend größeren Differenzen beim Atemgrenzwert, bei dem es in sehr hohem Maße auf die Mitarbeit des Probanden ankommt.

Diese Geschlechtsunterschiede bei den Korrelationskoeffizienten (die nichts zu tun haben mit den verschiedenen absoluten Meßergebnissen) finden sich auch in den Untersuchungen von Dickman und Düggelein, während Thiemann bei den Mädchen zum Teil sogar höhere Korrelationen ermittelt als bei Buben. In diesem Zusammenhang erschiene es sicherlich interessant, einmal die Ursachen für diese Unterschiede bei Untersuchungen in verschiedenen Ländern zu erforschen. Möglicherweise spielen hier neben ethnischen Gründen auch die verschiedenen Gesellschaftsordnungen eine Rolle.

Breite Übereinstimmung herrscht dagegen bei allen Autoren darüber, welche der drei gebräuchlichsten anthropometrischen Meßgrößen am engsten mit den Lungenfunktionswerten verknüpft ist (18, 40, 41). Durchwegs ergaben sich die relativ höchsten Korrelationskoeffizienten im Verhältnis zur Körpergröße. Als nächstbester Vergleichsmaßstab erscheint das Gewicht und dann erst das Alter der untersuchten Kinder und Jugendlichen, womit die eigenen Schlußfolgerungen bestätigt werden.

Hsu und Dickman (16, 40, 41) untersuchten ebenfalls den Zusammenhang von $FEV_{1,0}/FVC$ und den anderen Meßgrößen. Sie kamen dabei zu dem Ergebnis, daß sich in keinem Fall eine signifikante Korrelation ermitteln ließ. Dies stimmt mit den eigenen Beobachtungen überein.

4.4. Vergleich der Normwerte bzw. Normwertkurven bezogen auf die Größe mit denen anderer Autoren

In den folgenden Abbildungen werden die eigenen Größen-normwertkurven (d.h. die 50 % Percentile) mit den von anderen Autoren publizierten Ergebnissen (ausgedrückt durch Mittelwerte) verglichen.

Betrachtet werden dabei, jeweils für Buben und Mädchen getrennt, die Vitalkapazität (VC), das Forcierte Expiratorische Volumen in der ersten Sekunde ($FEV_{1,0}$), die Maximale Expiratorische Flußrate (PEFR) und der Atemgrenzwert (MVV). Es erwies sich als schwierig, annähernd vergleichbare Normkurven zu finden. So waren etwa Normwerte für $FEV_{0,5}$ überhaupt nicht zu erhalten.

Mit einer Ausnahme handelt es sich dabei um Veröffentlichungen der letzten 15 Jahre, die sich in der Altersverteilung in etwa mit unserer Studie decken:

Tabelle 8

Autor	Land	Jahr	Anzahl	Gerät	Altersverteilung
Thiemann	DDR	1976	3 420	Spirotest	6 - 16 (66)
Hsu	USA	1979	1 805	Roll-Seal type Spirometer Wright Peak Flow Meter	7 - 20 (40,41)
Hötter	BRD	1972	600	Pulmo Analysator "Godart"	6 - 18 (39)
Ferris	USA	1952/53	394	Benedict-Roth Type Spirometer	5 - 18 (27,26)
eigene Unters.					

Zusätzlich aufgenommen wurden auch die 1971 von Polgar veröffentlichten "summary curves", die die Zahlen vieler wesentlicher Studien bis zu diesem Zeitpunkt zusammenfassen (56).

Eingeschränkt ist die Vergleichbarkeit der einzelnen Untersuchungen natürlich durch die unterschiedliche Zahl der Testpersonen pro Studie, durch die verschiedenartigen Meßgeräte sowie durch die häufig differierende Art der Auswertung.

Zweifellos die am häufigsten gemessene Lungenfunktionsgröße ist die Vitalkapazität.

Bei den Buben ergab sich eine weitgehende Übereinstimmung mit den von Polgar veröffentlichten Kurven bis zu einer Größe von etwa 160 cm. Von da an steigen die eigenen Werte wesentlich stärker an. Relativ niedrige Volumina bestimmten Ferris und Thiemann, letzterer vor allem in den oberen Größenklassen. Dies ist wohl zum Teil dadurch zu erklären, daß bei Thiemann nur Jugendliche bis zu einem Alter von 16 Jahren untersucht wurden. Abweichungen in den oberen Größenklassen waren auch bei Hötter zu verzeichnen: Im Bereich ab 160 cm lagen auch hier unsere Zahlen deutlich über der Vergleichskurve.

Stärkere Übereinstimmungen zeigen sich dagegen beim Vergleich für die VC bei Mädchen. Hier findet sich ein fast linearer Anstieg der Lungenvolumina. Lediglich Thiemann veröffentlicht relativ niedrige Werte.

Den eigenen Normkurven für $FEV_{1,0}$ wurden die entsprechenden von Polgar, Thiemann und Hsu veröffentlichten Werte gegenübergestellt.

Auch hier fällt bei den Knaben wieder auf, daß Thiemann und Polgar von einem mehr oder weniger kontinuierlichen linearen Anstieg ausgehen. Ebenso liegen - auch im Vergleich zu Hsu - die eigenen Ergebnisse für den Größenbereich ab 160 cm höher, während Hsu und Polgar im Bereich 140 - 160 cm unsere Zahlen übertreffen.

Bei den Mädchen sind die Unterschiede für diesen Parameter - wieder abgesehen von Thiemann - wesentlich geringer ausgeprägt.

Relativ wenige Vergleichsmöglichkeiten gibt es für die PEFR. Hier bezogen wir unsere Kurven auf die Ergebnisse von Polgar und Hsu.

Polgar errechnete für diesen Parameter keine Geschlechtsunterschiede, sodaß seine Kurven für Mädchen und Buben identisch sind. Die von Hsu und Polgar veröffentlichten Werte liegen allgemein etwas höher als die eigenen. Eine Ausnahme bilden hier die oberen Größenklassen bei den Buben (ab 160 cm), eine Beobachtung, die auch schon beim Vergleich von VC und FEV_{1,0} gemacht werden konnte.

Bei beiden zeigt sich in diesem Bereich ein fast linearer Anstieg, was im Widerspruch zu unseren Ergebnissen beim männlichen Geschlecht steht.

Die Kurven für den Atemgrenzwert wurden mit denen von Hötter und Ferris verglichen.

Hötters Werte liegen relativ niedrig, die Kurven ähneln aber unseren (vor allem was den abrupten Anstieg ab einer Größe von 160 cm bei den Knaben angeht.) Ferris veröffentlicht fast lineare Kurven, die sich bei den Mädchen mit unseren Kurven beinahe decken. Für das Verhältnis $FEV_{1,0}/FVC$ boten sich ebenfalls nur wenige Vergleichsuntersuchungen an. Engström ermittelte im Durchschnitt 86,9 % als Norm (20), in der jüngeren Veröffentlichung von Chehreh (12) erreichten die Buben durchschnittlich 91,3 %, die Mädchen 91,6 % (Alter: 6 - 14 Jahre!).

Bei den eigenen Zahlen ist vor allem in diesem Zusammenhang die leicht rückläufige Tendenz hervorzuheben, die die Werte mit zunehmender Größe vor allem bei den Buben aufweisen. Diese Beobachtung machte (allerdings für beide Geschlechter einheitlich) auch Hsu (40).

Daß auch hier Geschlechtsunterschiede bestehen, zeigen aber die von uns ermittelten höheren Prozentwerte für Mädchen, was sich wiederum mit den Ergebnissen von Bjure deckt (7). Im Gesamtvergleich liegen unsere Werte relativ hoch.

Welche Folgerungen sind nun aus den eigenen Normwerten und Normkurven, sowie aus dem Vergleich mit anderen Studien zu ziehen?

Als ein wesentliches Ergebnis unserer Messungen erscheint mir die Erkenntnis, daß die Darstellung der Normwerte in Form einer rein linearen Beziehung oder einer einfachen Regression nicht sinnvoll ist. Besonders bei den Buben wird dadurch die Entwicklung der Lungenfunktion in einzelnen Größenbereichen verfälscht: Der überproportionale Anstieg der Werte beim männlichen Geschlecht während der Pubertät kommt somit bei den meisten Veröffentlichungen nicht ausreichend zur Geltung.

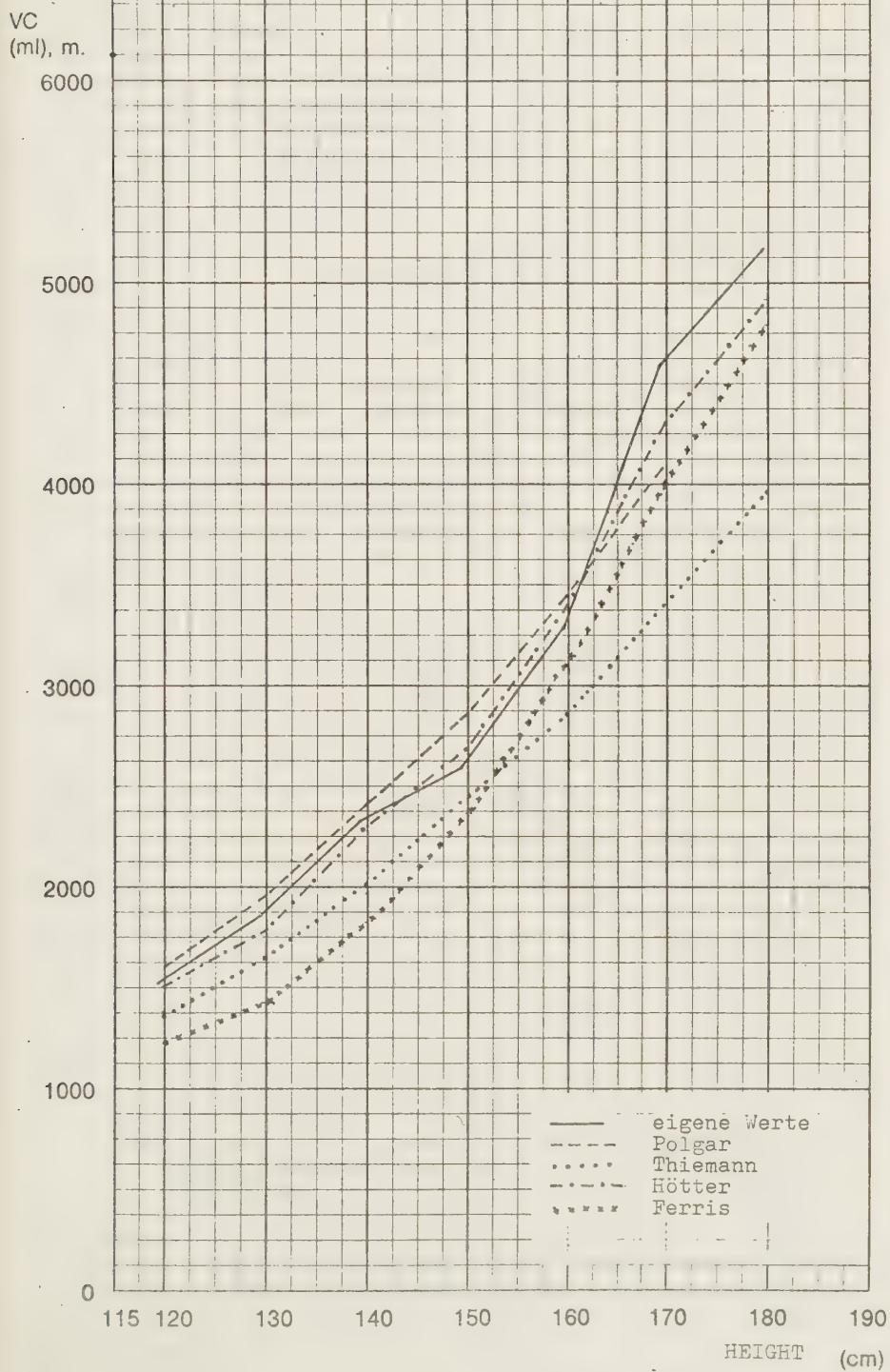
Auch Polgar weist in seiner Veröffentlichung von 1979 darauf hin, daß es besser sei, die Normwerte jeweils für möglichst kurze Größenabschnitte zu errechnen als sie in Form einer eleganten exponentiellen Kurve über den gesamten Größenbereich von 120 - 180 cm darzustellen (57). Dadurch wird zweifelsohne die Gefahr einer übermäßigen Simplifizierung heraufbeschworen.

Diese Feststellung gilt dabei für alle von uns gemessenen Parameter mit Ausnahme der Relativen Halb- und Ein-Sekundenkapazitäten, die nicht mit den Vergleichsmaßstäben korrelieren.

Der Vergleich der Kurven und Tabellen zeigt auch, daß einheitliche Normwerte für beide Geschlechter nicht erstellt werden sollten, da diese einheitlichen Normwerte für Buben in der Regel zu gering, für die Mädchen dagegen zu hoch angesetzt wären.

Von großer Bedeutung werden diese Unterschiede vor allem ab einem Alter von etwa 14 Jahren (38): Nach dem Einsetzen der Pubertät kommt es bei den Buben zu einem unverhältnismäßig hohen Anstieg der Lungenfunktionswerte im Vergleich zum weiblichen Geschlecht (jeweils bezogen auf dieselbe Körpergröße!). Eine nach Geschlechtern getrennte Bestimmung der Norm ist deshalb für alle hier behandelten Parameter unverzichtbar.

Daß der Vergleichsmaßstab "Größe" am geeignetsten ist, wurde bereits erwähnt. Daneben bieten sich aber zur Ergänzung auch die beiden anderen Vergleichsmaßstäbe "Alter" und "Gewicht" an, um eine noch bessere Einordnung der individuellen Lungenfunktionsdaten zu ermöglichen.



VC
(mi) ,f.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

115 120

130

140

150

160

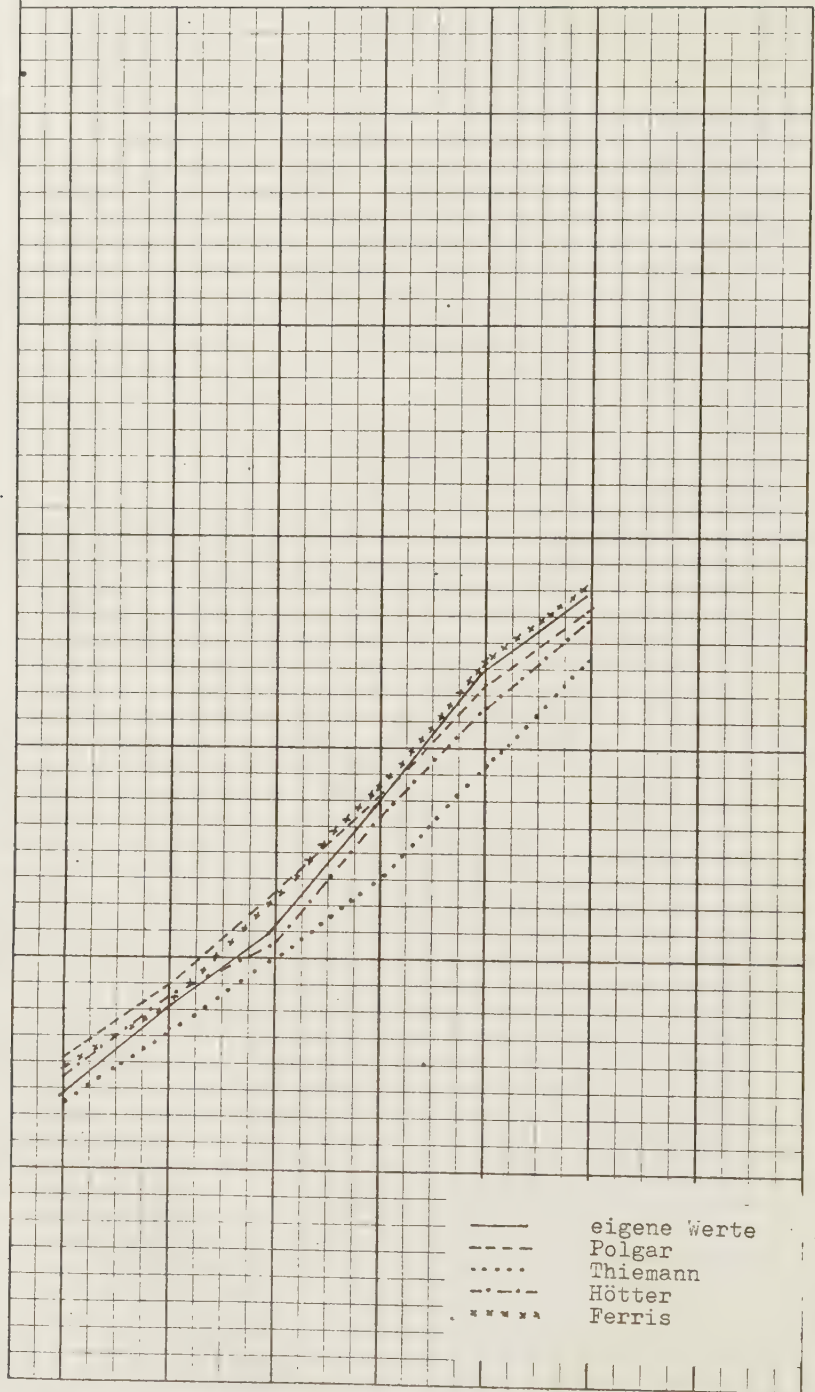
170

180

190

HEIGHT (cm)

- eigene Werte
- - - Polgar
- Thiemann
- · - · - Hötter
- * * * * * Ferris



FEV_{1,0}
(ml) ,m.

6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

115 120

130

140

150

160

170

180

190

HEIGHT (cm)

— eigene Werte
- - - Polgar
..... Thiemann
- . - . Hsu



FEV_{1,0}
(ml), f.
6000

5000

4000

3000

2000

1000

0

115 120

130

140

150

160

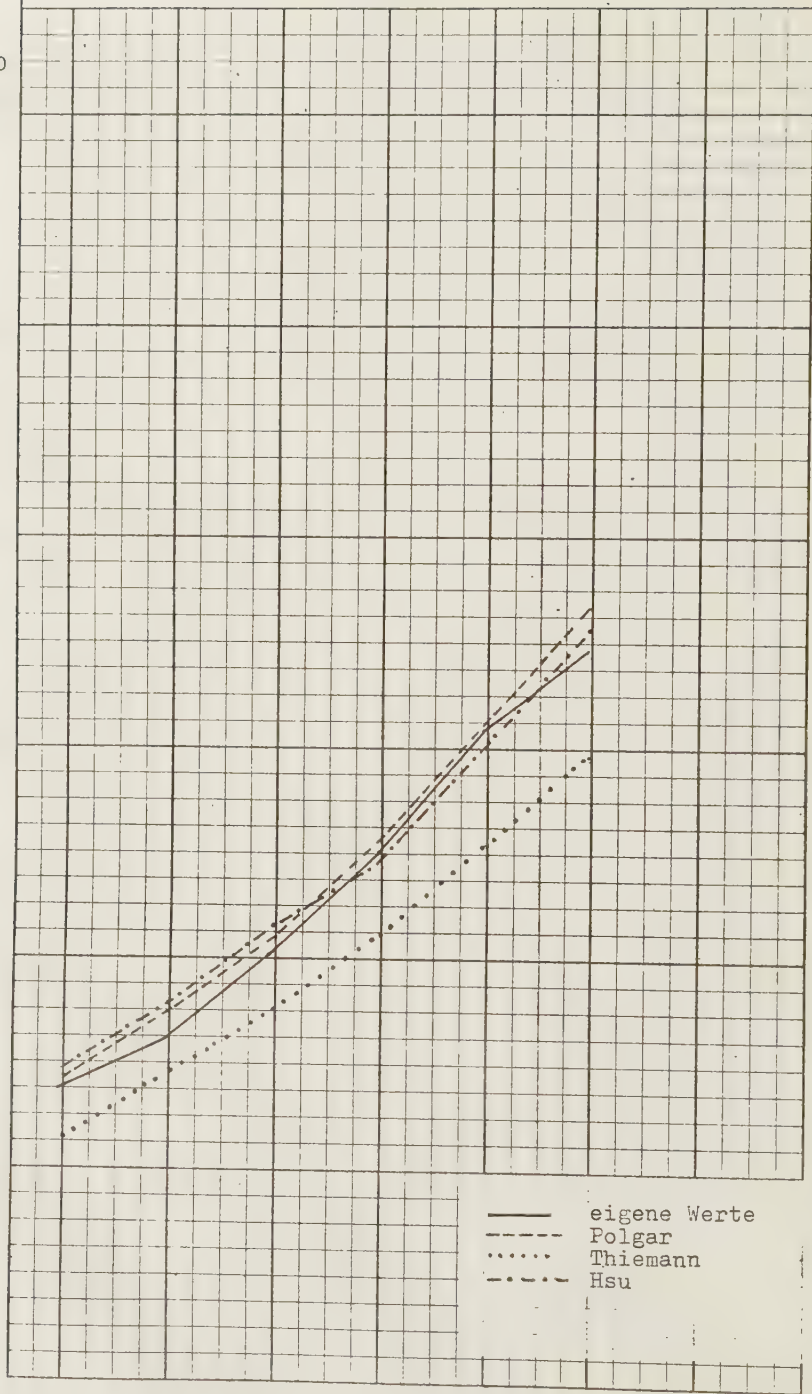
170

180

190

HEIGHT (cm)

— eigene Werte
- - - Polgar
..... Thiemann
- . - . Hsu



PEFR
(l/min), m.

600

500

400

300

200

100

0

115 120

130

140

150

160

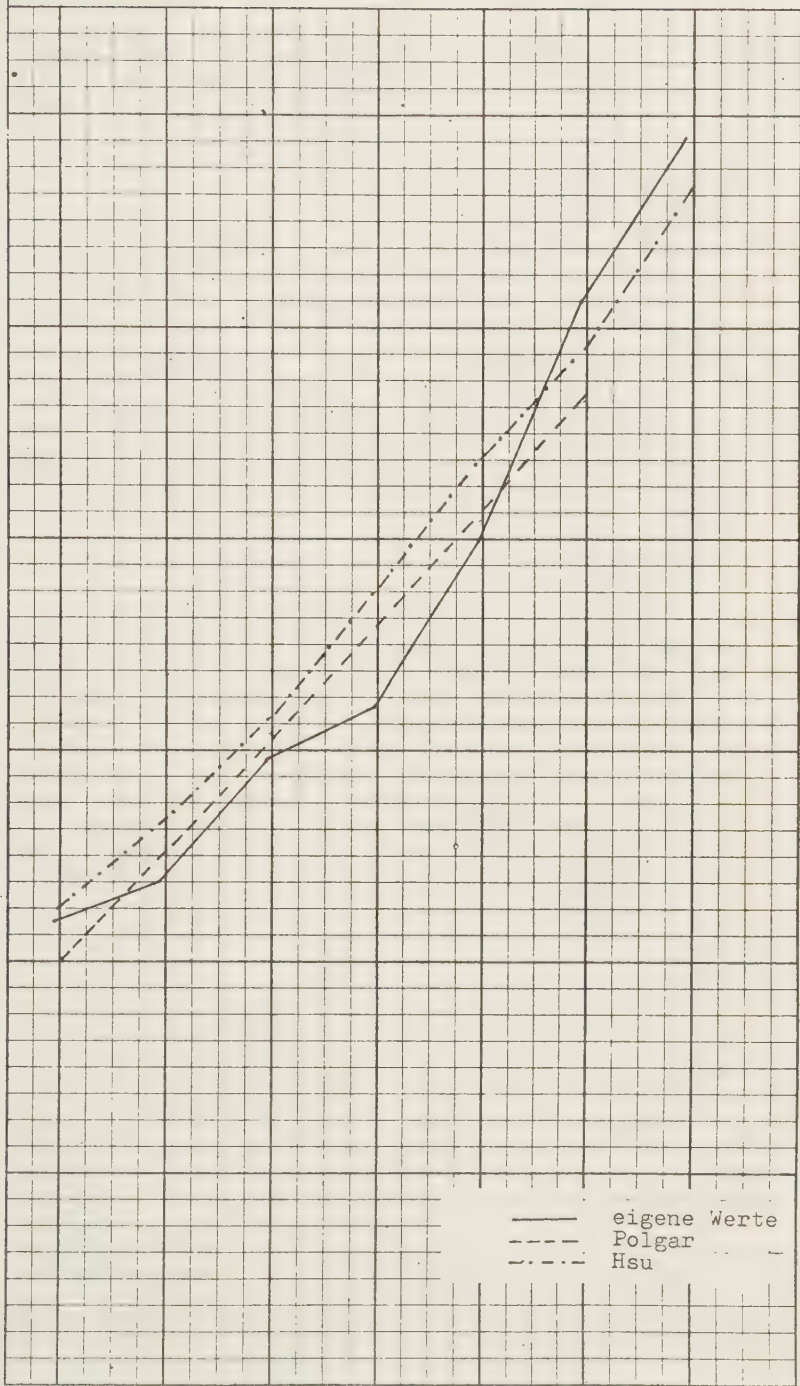
170

180

190

HEIGHT (cm)

— eigene Werte
- - - Polgar
- · - Hsu



PEFR
(l/min), f.

600

500

400

300

200

100

0

115 120

130

140

150

160

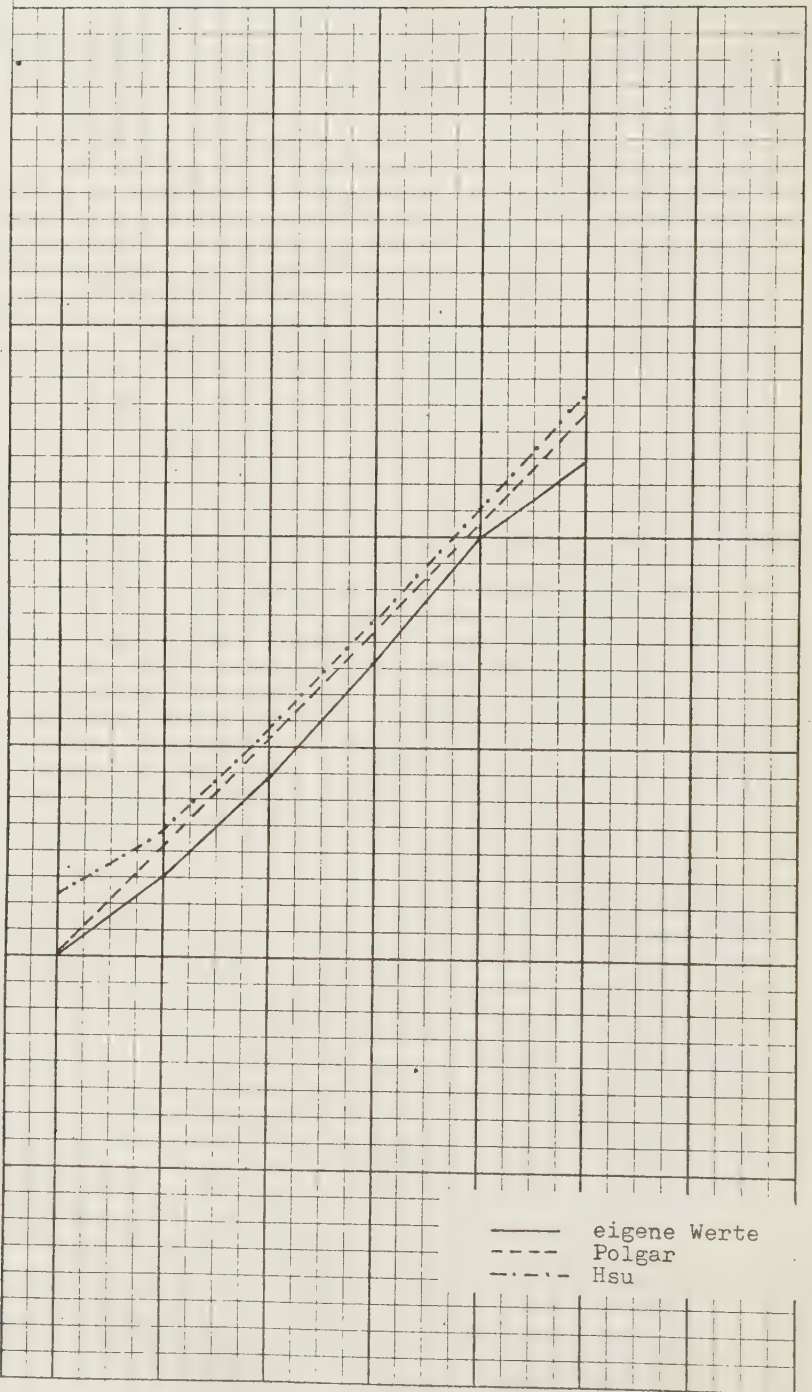
170

180

190

HEIGHT (cm)

— eigene Werte
--- Polgar
- - - Hsu



MW
(l/min), m.

240

200

160

120

80

40

0

115 120

130

140

150

160

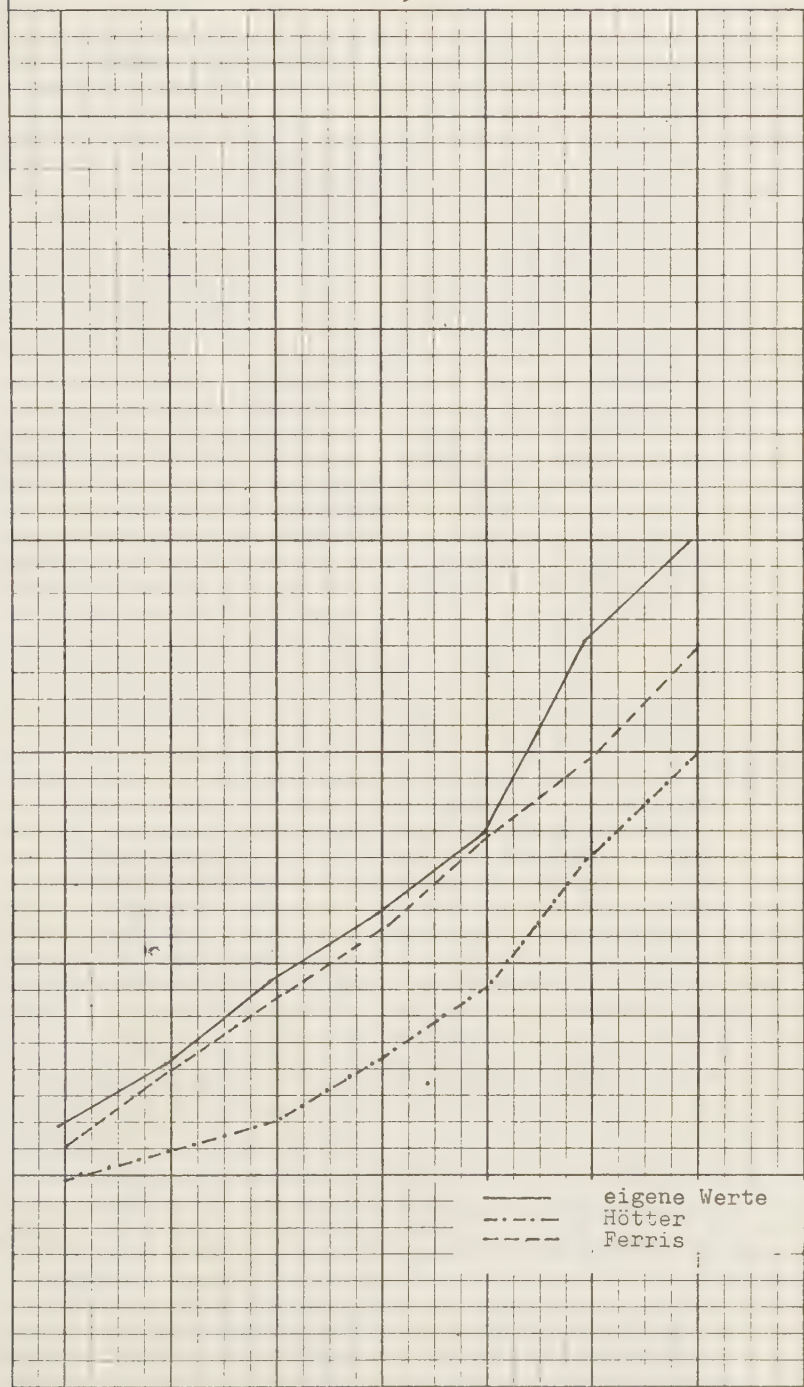
170

180

190

HEIGHT (cm)

— eigene Werte
- - - Hötter
- . - Ferris



MVV
(l/min), f.

240

200

160

120

80

40

0

115 120

130

140

150

160

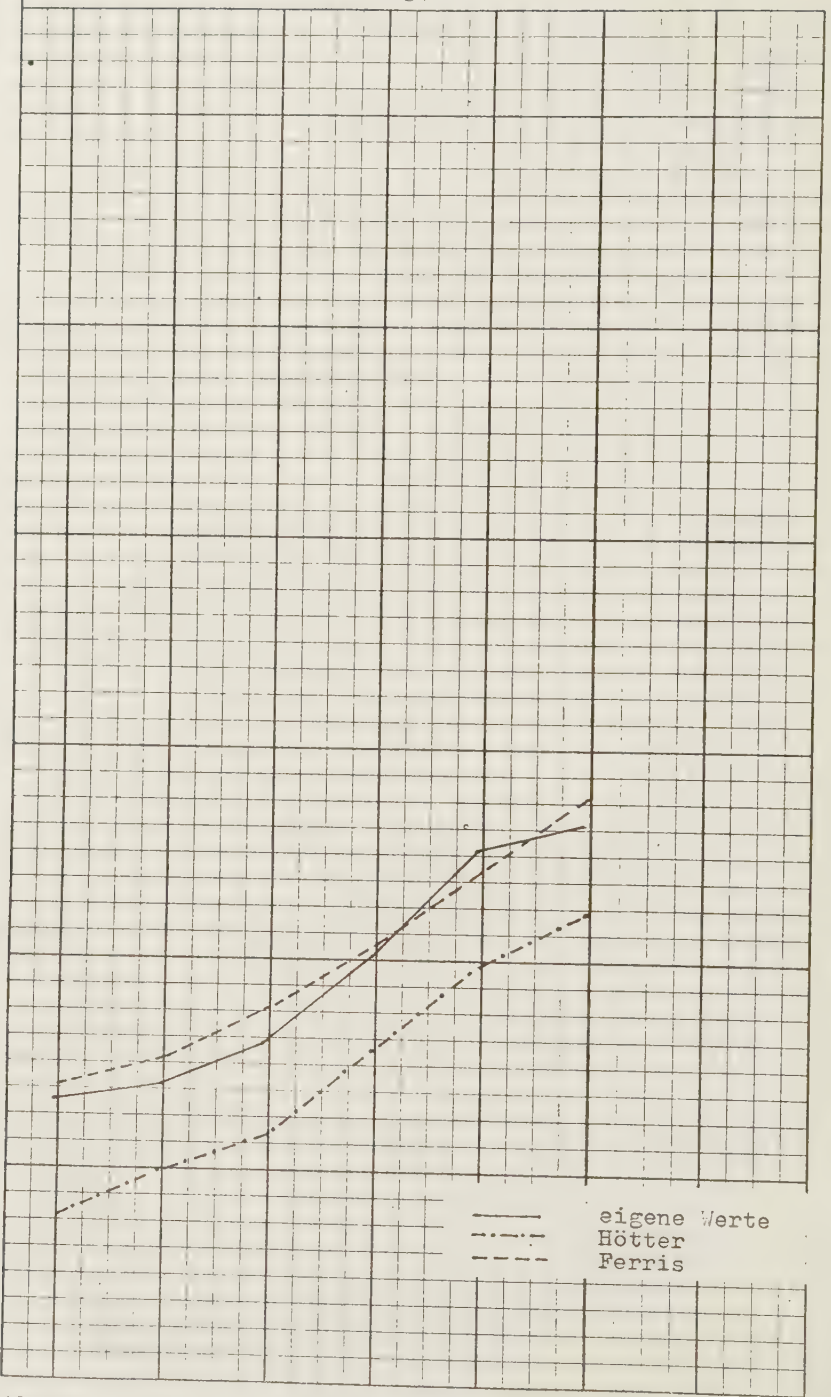
170

180

190

HEIGHT (cm)

— eigene Werte
- · - Hötter
- - - Ferris



4.5. Vergleich der Größen-Normwerte mit den Lungenfunktionsdaten von "Kranken", "Sportlern" und "Rauchern"

Von den 2110 untersuchten Kindern und Jugendlichen wurden 497 entsprechend der im Abschnitt 2.3. beschriebenen Kriterien als "krank", "sportlich" oder "Raucher" eingestuft. Ihre Lungenfunktionsdaten gingen nicht in die Berechnung der Normwerte ein.

Diese 497 Probanden teilten sich folgendermaßen auf:

"Krank"	<u>421</u>
1) Mucoviszidose	38
2) Allergische Rhinitis, Asthma bronchiale (anfallsfrei)	11
3) frühere Pneumonie	70
4) Bronchitis	180
5) sonstige Erkrankungen	122
"Sportlich"	<u>45</u>
"Raucher"	<u>55</u>
1) bis 15 Zigaretten / die	25
2) mehr als 15 Zigaretten / die	30

Die Gesamtzahl von 521 erklärt sich daraus, daß für verschiedene Diagnosen Zweifachnennungen möglich waren. Verglichen wurden die Lungenfunktionswerte, der hier aufgeführten Testpersonen mit den Zahlen, die für die Gesunden (bezogen auf die Körpergröße) ermittelt wurden. Auf die Auswertung der Daten der Untersuchten mit "sonstigen Krankheiten" verzichtete man dabei.

Um zu einem - über den Einzelfall hinaus - objektivierbaren Ergebnis zu kommen, nahmen wir als Bezugspunkt die 50 % Percentile der Normwertkurven bzw. -tabellen.

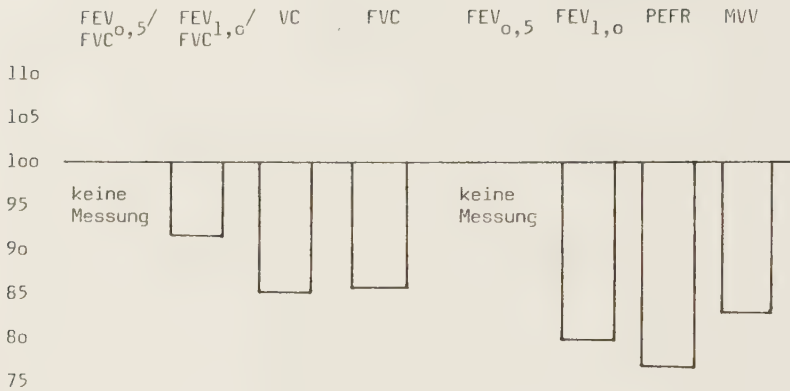
Die Istwerte der Probanden wurden als Prozentanteile vom Sollwert für entsprechende Größenklassen ausgedrückt. Aus sämtlichen Prozentzahlen einer Kategorie ließ sich dann durch Mittelung der durchschnittlichen Istwert für diese Kategorie in den acht gemessenen Lungenfunktionsparametern errechnen. Diese Durchschnittswerte sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Der besseren Übersicht halber erfolgt auch eine graphische Darstellung der prozentualen Abweichung von der Norm bezogen auf die einzelnen Kategorien.

Tabelle 9
Durchschnittliche Istwerte in % für die einzelnen Kategorien

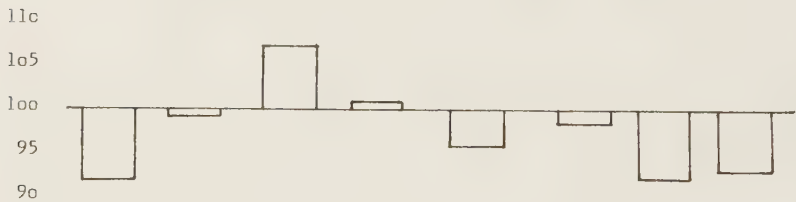
	FEV _{0,5} /FVC	FEV _{1,0} /FVC	VC	FVC	FLV _{0,5}	FEV _{1,0}	PFFR	MVV
Mucoviszidose		91,9	85,1	85,8		80,5	76,5	83,4
Bronchitis	97,5	97,7	95,5	94,8	90,8	91,8	91,1	92,1
Allerg. Rhinitis								
Asthma bronchiale	91,1	99,5	105,6	100,6	94,0	96,9	91,1	92,1
frühere Lungen- entzündung	100,7	98,7	99,3	99,6	99,1	98,6	98,7	104,0
"Sportlich"	99,4	96,8	110,6	112,1	106,0	107,7	114,2	125,1
"Raucher" bis 15 Zigaretten/die	98,0	98,7	108,3	103,3	100,9	103,4	99,1	99,9
"Raucher" mehr als 15 Zigaretten/die	93,3	95,3	108,8	106,7	100,6	102,6	102,7	105,7

Tabelle 10

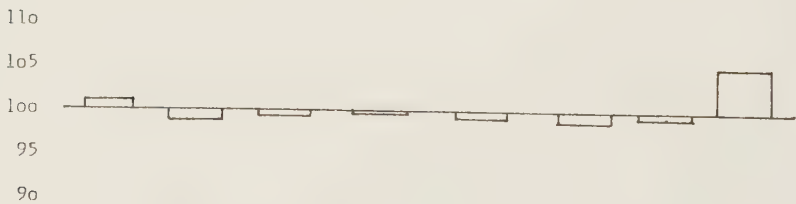
B 1) Mucoviszidose



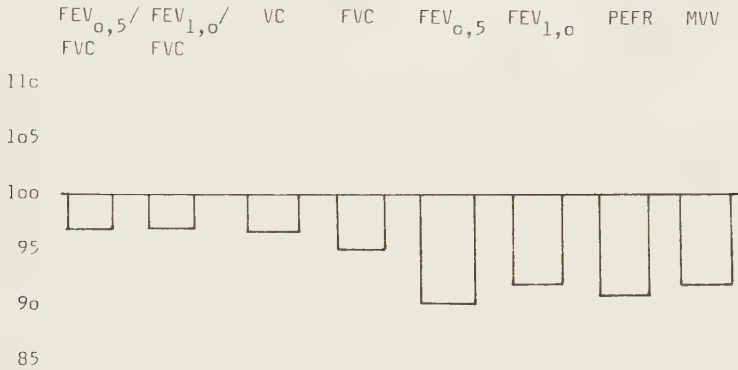
B 2) Allergische Rhinitis, Asthma bronchiale (anfallfrei)



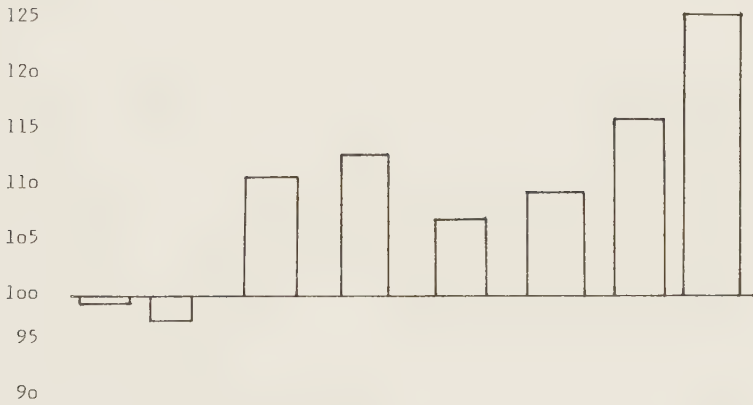
B 3) Frühere Lungenentzündung



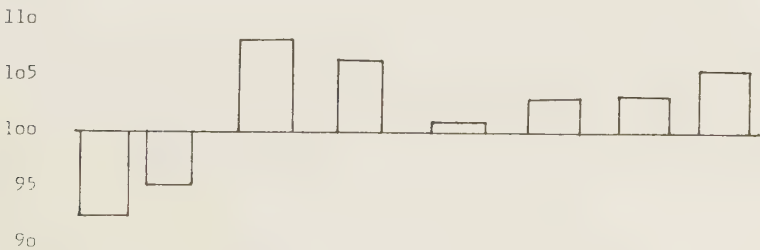
B 4) z. Zt. Bronchitis



C) "Sportlich"



D 2) Raucher, mehr als 15 Zig./ die



4.5.1. Mucoviszidose

Angesichts der vielen an der v. Haunerschen Universitätsklinik betreuten Kinder mit zystischer Fibrose war es möglich, eine Reihe von diesen ebenfalls zu testen.

Bei der Mucoviszidose handelt es sich um ein autosomal-rezessives Erbkleiden, das 1936 von Fanconi erstmals beschrieben wurde.

Mit einer Inzidenz von 1 auf etwa 2000 Geburten (35), nach anderen Angaben 1 : 1500 (24), ist sie die häufigste angeborene Stoffwechselkrankheit. Der Krankheit zugrunde liegt eine "generalisierte Exokrinopathie." Es besteht eine erhöhte Viskosität verschiedener exokriner Drüsen (Pankreas, Bronchialdrüsen, Verdauungstrakt etc.) verbunden mit einer abnormen Erhöhung der Na und Cl - Konzentration im Schweiß, die man sich bei der Diagnosestellung zunutze macht (Schweißtest!).

Durch diese gesteigerte Viskosität der Sekrete kommt es zur Verlegung und zystischen Dilatation der Ausführungsgänge der Drüsen mit anschließender Fibrose (insbesondere Pankreas).

Vor allem in der Lunge hat dies schwerwiegende Folgen: Verlegung der kleinen Bronchien, obstruktives Emphysem oder Atelektase, Bronchitiden und Pneumonien, zunehmende Ateminsuffizienz.

Bislang ist kein biochemischer oder struktureller Defekt bekannt, der die Pathophysiologie der zystischen Fibrose erklären könnte.

Betroffen von der Krankheit sind vor allem das Intestinum und die Lunge. In ca. 5 - 10 % der Fälle kommt es beim Neugeborenen zum Mekoniumileus. Häufig findet man im weiteren Verlauf Zeichen einer chronischen Verdauungsinsuffizienz, mit massigen, übelriechenden, fettreichen Stühlen als Folge eines Mangels an Verdauungsenzymen (vor allem des Pankreas.)

Leberveränderungen bis zur Zirrhose sind möglich. Das wichtigste betroffene Organ ist freilich die Lunge. Da pulmonale Veränderungen bei über 90 % der Mucoviszidosekranken auftreten (24) und diese Veränderungen die Lebenserwartung am stärksten beeinträchtigen (42), konzentriert sich das ärztliche Bemühen auf Vorbeugung bzw. symptomatische Therapie der Lungenkomplikationen (Pneumonien, pulmonale Insuffizienzen, Cor pulmonale, Lungenparenchymuntergang). Hierbei wurden in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte erzielt. Im Gegensatz zu früher, als die meisten Betroffenen bereits im ersten Lebensjahrzehnt verstarben, erreichen heute viele das Erwachsenenalter, zum Teil in einem sehr befriedigendem Gesundheitszustand (Verdopplung des Lebensalters in den letzten 22 Jahren!) (42)

Dies erreichte man durch eine konsequente Behandlung in enger Kooperation zwischen Eltern, Kindern und spezialisierten Therapiezentren (29). Zu erwähnen sind hier vor allem die regelmäßig durchgeführte Klopf- und Vibrationsmassage des Thorax, Inhalationen (mit Sekretolytika), der gezielte Einsatz von Antibiotika und eine Infektionsprophylaxe durch Schutzimpfungen, ohne daß im Rahmen dieser Arbeit näher darauf eingegangen werden kann. Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der Kontrolle der Lungenfunktion zu, die regelmäßig und häufig getestet werden muß.

Nicht unerwartet ergaben sich denn auch bei den Mucoviszidose-Patienten die gravierendsten Veränderungen der Lungenfunktion nach unten. Aus technischen Gründen war es nicht möglich, bei diesen Probanden das $FEV_{0,5}$ (und damit auch nicht das Verhältnis $FEV_{0,5}/FVC$) zu bestimmen. Die durchschnittlichen Ergebnisse der einzelnen Lungenfunktionsparameter zeigten, daß bei der zystischen Fibrose schon frühzeitig (die meisten Untersuchten waren unter 10 Jahre alt) gravierende Einschränkungen der Lungenfunktion auftreten.

Die Verminderung sämtlicher Meßgrößen deutet hierbei auf eine kombinierte obstruktive und restriktive Ventilationsstörung hin.

Die größte Differenz im Vergleich zu den Normwerten zeigten sich bei der PEFR (wo nur 76,5 % erreicht wurden), die geringste bei der Relativen Einsekundenkapazität, doch ist auch dieser Wert noch stark vermindert.

Diese Beobachtungen decken sich mit den Ergebnissen anderer Untersucher. Corey fand eine deutliche Verminderung von FVC, $FEV_{1,0}$, $FEV_{1,0}/FVC$ (14). Goldring bestimmte niedrige Werte für den Atemgrenzwert und die Vitalkapazität, jedoch im Gegensatz zu unseren Messungen eine normale Relative Ein-Sekundenkapazität (32).

Gerade beim Krankheitsbild der Mucoviszidose ist eine engmaschige Longitudinalbeobachtung der einzelnen Patienten mittels Spirometrie sehr hilfreich, was die Verlaufsbeobachtung und evtl. therapeutische Konsequenzen angeht.

So ermittelte Levison eine gute Korrelation von MVV und Leistung der Mucoviszidosepatienten, die auf einem Fahrradergometer gemessen wurde. (48) Ebenso fand er eine Übereinstimmung zwischen klinischer Einstufung (grade) der Erkrankten und der Einschränkung der Lungenfunktion (ausgedrückt durch $FEV_{1,0}$ und andere spirometrische Parameter). Diese Ergebnisse unterstreichen noch die Bedeutung der Lungenfunktionsprüfung bei der Verlaufskontrolle der Mucoviszidose.

4.5.2. Allergische Rhinitis, Asthma bronchiale (symptomfrei)

Das Asthma bronchiale gehört zu den häufigsten chronischen Erkrankungen des Kindesalters und hat vor allem wegen seiner möglichen gesundheitlichen Spätschäden eine große Bedeutung in der Kinderheilkunde wie auch in der übrigen Medizin.

Beim Asthma bronchiale handelt es sich um eine intermittierende generalisierte Obstruktion der Atemwege. Gekennzeichnet ist diese Erkrankung durch eine expiratorische Dyspnoe, eine expiratorisches Giemen und Husten. Ätiologisch kommen im Kindesalter zu 75 % Allergene als auslösende Ursachen von Asthmaanfällen in Frage (Blütenpollen, Tierhaare, Hausstaubmilbe etc.) Aber auch entzündliche und psychosomatische Faktoren spielen bei der Auslösung eine Rolle (9).

Aus denselben Ursachen kann sich auch eine Rhinitis allergica entwickeln.

Eine Zusammenfassung beider Krankheitsbilder bot sich an, da aus einer atopischen Rhinitis Asthma entstehen kann, bzw. leichtere asthmatische Beschwerden häufig mit solch einer Rhinitis verknüpft sind.

Neben der Minderung der PEFr und des MVV fielen vor allem die niedrige Relative Halbsekundenkapazität und das entsprechend geringe $FEV_{0,5}$ auf, während FVC und VC normal bzw. sogar über der Norm lagen. Dies weist auf eine obstruktive Ventilationsstörung hin, wobei sich gerade auch hierbei zeigt, daß bei Kindern die Messung des $FEV_{0,5}$ wesentlich aussagekräftiger ist als die Bestimmung von $FEV_{1,0}$: Der Wert für die Relative Ein-Sekundenkapazität lag bereits wieder im Normbereich.

Bedeutsam erschien in diesem Zusammenhang auch noch der eindeutige Unterschied zwischen den für VC und FVC erzielten Durchschnittsergebnissen. In der Regel werden ja für beide Parameter ähnliche Werte ermittelt.

Es scheint so, daß bei diesen Krankheitsbildern ein während des forcierten Expirationsmanövers einsetzender Bronchialkollaps zu vergleichsweise niedrigeren FVC-Werten führte, während bei langsamer und ruhiger Ausatmung (Bestimmung von VC!) sogar überdurchschnittliche Werte zu erzielen waren. Auch Morris weist darauf hin, daß bei zunehmender Obstruktion das FVC eher absinkt als die Vitalkapazität (53).

Somit ist die Bestimmung der Forcierten Vitalkapazität neben oder anstatt der VC sicherlich nicht nur gerechtfertigt, sondern sogar von Vorteil.

Wie auch unseren Messungen entsprechend, fand Engström signifikant niedrigere Werte für den Atemgrenzwert bei Kindern mit Asthma bronchiale (symptomfrei) (22).

4.5.3. Frühere Pneumonie

Ebenfalls nicht in die Gruppe der "Gesunden" eingereicht wurden die Kinder und Jugendlichen, die bereits einmal eine Lungenentzündung durchgemacht hatten. Eine derartige Einordnung entspricht - wie bereits an anderer Stelle erwähnt - den heute gebräuchlichen Richtlinien für die Durchführung von Lungenfunktionstests bei Kindern.

Da man in diesem Zusammenhang allein auf die anamnestischen Angaben der Probanden angewiesen war, ist es natürlich möglich, daß nicht alle Betroffenen erfaßt wurden.

Doch dürfte sich in der Regel eine Pneumonie für den Einzelnen so einschneidend darstellen, daß eine derartige Erkrankung auch für längere Zeit im Gedächtnis bleibt.

Die gemessenen Werte zeigten eine deutliche Diskrepanz im Vergleich zur vorher betrachteten Gruppe:

Sie schwankten ziemlich konstant um die 100 % Marke (Minimum $FEV_{1,0}$ 98,6 % ; Maximum MVV 104 %), unterschieden sich also kaum von den Ergebnissen des Normalkollektivs.

Offensichtlich führt eine abgeheilte Pneumonie im Normalfall zu keiner andauernden Einschränkung der von uns bestimmten Lungenfunktionsgrößen.

4.5.4. Bronchitis

Eine Beteiligung der Atemwege bei Infektionskrankheiten im Kindesalter ist sehr häufig. Meist handelt es sich primär um virale, seltener um bakterielle Infektionen. Als Erreger kommen im Kindesalter in erster Linie RS-, Adeno-, Coxsackie- und ECHO-Viren in Frage (34). Bakterielle Erreger sind vor allem *Hämophilus influenzae*, Streptokokken und Staphylokokken (24). Das führende klinische Symptom der Bronchitis ist ein (zunächst) "trockener" Husten, der dann übergeht in einen "produktiven" Husten, verbunden mit Sekretentleerung (Auswurf) (24). Eine gelbliche Verfärbung des ansonsten weißlich-glasigen Sputums spricht für eine bakterielle Superinfektion. Die Bezeichnung "Bronchitis" kann allerdings in Art und Schwere höchst unterschiedliche Krankheitsbilder beschreiben (-5-). Da unsere Untersuchung in der Schule stattfand, darf man aber davon ausgehen, daß es sich hier vor allem um mildere affekte Formen der Bronchitis gehandelt hat.

Bei den Kindern und Jugendlichen mit dieser Diagnose ergaben sich im Durchschnitt Verminderungen aller Lungenfunktionsparameter, am ausgeprägtesten beim $FEV_{0,5}$. Eine deutliche Reduktion war auch noch beim $FEV_{1,0}$, beim MVV und bei der PEFV festzustellen. Entgegen den lehrbuchmäßig zu erwartenden Ergebnissen fand sich auch eine Verminderung der Vitalkapazität und der Forcierten Vitalkapazität, wenn auch die obstruktive Komponente der Ventilationsstörung bei akuter Bronchitis deutlich hervortritt (geringes $FEV_{0,5}$ und $FEV_{1,0}$).

Zusammenfassend kann man sagen, daß bei dieser Erkrankung spirographisch durchaus eine (wenn auch reversible) Einschränkung der Lungenfunktion zu beobachten war, was zum Teil im Gegensatz zu gängigen Lehrmeinungen steht (34).

4.5.5. "Raucher"

Als eigene Gruppe betrachtet wurden auch die Testpersonen, die auf Befragen regelmäßigen Zigarettenkonsum angaben. Die "Raucher" teilten wir entsprechend der Intensität ihres Nikotinkonsums noch einmal in zwei Gruppen auf (bis 15 Zigaretten pro Tag; über 15 Zigaretten pro Tag.)

Es handelte sich hierbei um Jugendliche, wobei die Mehrzahl der Betroffenen zwischen 16 und 20 Jahre alt war.

Bei beiden Gruppen ergab sich wenig Auffälliges. Die Werte schwankten um die 100 %. Lediglich bei den "starken" Rauchern lagen die Durchschnittszahlen im Vergleich zur Norm für die Relative Halb- und Ein-Sekundenkapazität ziemlich niedrig.

Selbst wenn man die geringe Fallzahl ($n = 30$) berücksichtigt, so scheint mir dies doch ein bemerkenswertes Ergebnis zu sein. Eine grenzwertige bzw. deutlich unter der Norm liegende Relative Ein-Sekundenkapazität bei Erwachsenen ist bereits von verschiedenen Autoren festgestellt worden (43, 71). Hingegen konnte Lim in seiner Untersuchung bei 15 - 18 jährigen Rauchern keine Veränderung von $FEV_{1,0}/FVC$ bemerken (49).

Sowohl, was das Alter, als auch was die durchschnittliche Raucheranamnese (2 Jahre) angeht, dürfte unser untersuchtes "Raucherpotential" dem von Lim entsprechen. Da man davon ausgehen darf, daß angesichts der noch relativ kurzen Dauer der "Nikotinexposition" keine schwerwiegenden pulmonalen Veränderungen eingetreten sind, ist wohl die Schlußfolgerung möglich, daß auch mittels Spirometrie gewisse Hinweise auf eine sog. small airway disease gefunden werden können. Wanner weist in seiner Veröffentlichung darauf hin, daß dieses small airway disease (möglicherweise ein Frühstadium des chronisch obstruktiven Syndroms) unter anderem auch bei jugendlichen Rauchern gefunden wurde (70).

Hingegen konnten wir aus unseren Messungen keine negative Veränderung der Maximalen Expiratorischen Flußrate erkennen, wie sie Backhouse 1973 feststellte (4).

Allerdings zeigte Brooks, daß bei erwachsenen Rauchern (d.h. also mit einer zumeist längeren Raucheranamnese) der altersbedingte Rückgang der PEFr (etwa ab 30 Jahre) schneller fortschreitet als bei Nichtraucher, bzw. bei Ex-Rauchern (10). Deutliche Unterschiede ergaben sich dabei allerdings erst ab einem Alter von etwa 45 Jahren.

4.5.6. "Sportler"

Bei den als besonders sportlich eingestuften Testpersonen handelte es sich bevorzugt um Schüler des Leistungskurses Sport an Gymnasien, also vorwiegend um "ältere" Jugendliche. Wie schon die geringe Zahl der als sportlich klassifizierten im Vergleich zur Gesamtzahl der Untersuchten zeigt (35 von 2110), wurden sehr hohe Maßstäbe angelegt. Man ging dabei davon aus, daß sich bei der Wahl eines solchen Faches in der Regel eine gewisse sportliche Begabung mit regelmäßiger sportlicher Aktivität verbindet.

Die Lungenfunktionswerte der Sportler fielen überdurchschnittlich gut aus, wobei insbesondere PEFr (114,2 %) und MVV (125,1 %) deutlich erhöht waren. Der durchschnittliche Atemgrenzwert lag damit immerhin um etwa ein Viertel höher als die vergleichbaren Normwerte. Bekanntlich spielen bei diesem Parameter nicht-pulmonale Faktoren eine wichtige Rolle (Leistungsfähigkeit des neuromuskulären Atemapparats, Trainingszustand aber auch Kooperationsbereitschaft) (55). Da diese Voraussetzungen bei den sportlichen Jugendlichen besonders stark vertreten sind, läßt sich dieses herausragende Ergebnis auch gut erklären.

Aber auch die anderen Parameter lagen deutlich höher als im Durchschnitt, insbesondere VC und FVC.

Als vergleichsweise niedrig erwiesen sich die Relativen Sekundenkapazitäten bei den Sportlern, was sich mit den Erkenntnissen von Morris deckt (53). Doch von dieser Beobachtung aus auf eine beginnende Obstruktion zu schließen, wäre sicherlich falsch. Da die FVC bei den Sportlern noch sehr viel deutlicher über der Norm lag als $FEV_{0,5}$ bzw. $FEV_{1,0}$ ergaben sich bei der Bildung des Verhältnisses FEV/FVC (= Relative Sekundenkapazität) "subnormale" Werte. Bühlmann erhielt für die Vitalkapazität von sportlich Trainierten 2 - 6 % über der Norm liegende Werte (11). Die eigenen Ergebnisse liegen in dieser Hinsicht deutlich höher, was allerdings vielleicht auf unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe (Definition "sportlich") zurückzuführen ist.

4.6. Zur Bedeutung der einzelnen Lungenfunktionsparameter für die Diagnostik

Der Vergleich der bei "Kranken", "Sportlern" und "Rauchern" gemessenen Lungenfunktionsdaten mit den Normwerten hatte nicht zum Ziel für die einzelnen "Diagnosen" statistisch signifikante Veränderungen der Lungenfunktion zu errechnen. Dem stünde auch die zum Teil nur geringe Zahl von Untersuchten sowie die Schwierigkeit der Einordnung in die einzelnen Kategorien entgegen.

Sinn dieses Teils der Untersuchung war es vielmehr, die Sensitivität der von uns gebrauchten spirometrischen Größen anhand von Beispielen darzustellen.

Daß sich dabei - gewissermaßen als Nebeneffekt - bei einzelnen Diagnosen durchaus interessante Aspekte im Hinblick auf die Veränderungen der diversen Parameter ergaben, wurde im vorhergehenden Kapitel erörtert.

Zu diskutieren bleibt die Frage, welche der von uns gemessenen Parameter die größte Aussagekraft im Hinblick auf Veränderungen der Lungenfunktion haben.

Grundsätzlich ist zunächst einmal zu unterscheiden zwischen Lungenfunktionsgrößen, die eine obstruktive bzw. eine restriktive Ventilationsstörung anzeigen. Die Obstruktion ist vor allem gekennzeichnet durch eine eingeschränkte Relative Sekundenkapazität, während die Vitalkapazität und die FVC normal bzw. geringfügig vermindert sind.

Beim restriktiven Syndrom findet man dagegen eine subnormale VC und FVC, während die Relative Sekundenkapazität normale Werte erreicht (34).

Eine echte Differentialdiagnose zwischen Restriktion und Obstruktion läßt sich allerdings nur durch eine kombinierte Messung von statischen (z.B. VC) und dynamischen Lungenfunktionsgrößen (z.B. $FEV_{1,0}$, $FEV_{1,0}/FVC$) erhalten (36). Der Atemgrenzwert, das Maß für die Atemreserven, der sowohl eine enge Beziehung zur Vitalkapazität als auch zur Relativen Sekundenkapazität hat, ist in seinem Wert umstritten (69), zumal er auch stark von extrapulmonalen Faktoren abhängt. Auf der anderen Seite erscheint die Kombination von VC, $FEV_{1,0}/FVC$ und MVV als sehr sinnvoll, um die Unterscheidung zwischen obstruktiver, restriktiver und kombinierter Ventilationsstörung zu verifizieren (23).

Allerdings zeigen unsere Ergebnisse, daß in der Praxis kaum je eine rein obstruktive oder rein restriktive Ventilationsstörung zu ermitteln sein wird.

Mit der Einführung der Maximalen Expiratorischen Flußrate (PEFR) als neuer Lungenfunktionsgröße dürfte eine wesentliche Bereicherung des diagnostischen Instrumentariums geglückt sein. Bisher liegen freilich gerade für diese Größe kaum Normwerte vor (33). Nach unseren Beobachtungen ist die PEFR derjenige von uns bestimmte Parameter, der am sensibelsten auf Veränderungen der Lungenfunktion reagiert (sowohl im positiven als auch im negativen Sinne).

Diese Beobachtung entspricht auch der Ansicht von Gandevia, der die PEFR für wesentlich sensitiver bei der Erkennung einer bronchialen Obstruktion einschätzt als das $FEV_{1,0}$ (30). Die durchschnittlichen Istwerte in Prozent reichen bei unseren Untersuchungen von 76,5 (Mukoviszidose) bis 114,2 (Sportler). In diesem Sinne ist die PEFR sicherlich mehr als nur eine Ergänzung der herkömmlichen Spirometerwerte zu betrachten.

Als zweite sehr bedeutsame Größe erscheint uns das Forcierte Expirationsvolumen in der ersten halben Sekunde ($FEV_{0,5}$), das bei der Beurteilung der Lungenfunktion von Kindern wesentlich bessere Aussagemöglichkeiten bietet als das $FEV_{1,0}$. Sie zeigt vor allem bei Kindern unter 10 Jahren leichtere Formen der Obstruktion früher als das $FEV_{1,0}$ an. Das hängt damit zusammen, daß in dieser Altersgruppe die gesamte Forcierte Vitalkapazität in wesentlich kürzerer Zeit expiriert werden kann als im höheren Alter. So erreichten in unserer Studie mindestens 10 % der Kinder mit einer Größe von 115 - 124 cm eine $FEV_{1,0}/FVC$ von 100 %. Nach Lyons expirierten immerhin 6,3 % der Mädchen und 7,0 % der Buben ihre gesamte Vitalkapazität in der ersten Sekunde (50). Eine Bestimmung des $FEV_{0,5}$ ist deswegen bei Schulkindern vorzuziehen (30), doch ist diese Erkenntnis offensichtlich noch nicht sehr weit verbreitet:

Für unsere Ergebnisse konnte keine vergleichbare Meßstudie gefunden werden. Lediglich in der Veröffentlichung von Miller wird auf die Bedeutung des $FEV_{0,5}$ hingewiesen und sein praktischer Wert demonstriert (52).

Zusammenfassend gesehen bietet natürlich die kombinierte Messung aller Parameter den größten Informationswert.

Am ehesten verzichtet werden kann dabei auf die Relative Sekundenkapazität, die nur eine geringfügige zusätzliche Information im Vergleich zum $FEV_{0,5}$ und $FEV_{1,0}$ verschafft.

Die größte Aussagekraft besitzen das Forcierte Expirationsvolumen in der ersten halben Sekunde ($FEV_{0,5}$), die Forcierte Vitalkapazität (FVC) und die Maximale Expiratorische Flußrate (PEFR). Der Atemgrenzwert (MVV) mag dabei zusätzliche Aufschlüsse über nicht-pulmonale Faktoren (vor allem Kooperationsbereitschaft und Mitarbeit) ermöglichen, die man aus den anderen Parametern in diesem Ausmaß nicht gewinnen kann.

4.7. Der Stellenwert der Spirometrie in der Lungenfunktionsdiagnostik

In zahlreichen Veröffentlichungen der letzten Jahre erfährt die klassische Spirometrie eine kritische Würdigung: Einmal wird davor gewarnt, einer isolierten Messung einer Lungenfunktionsgröße (wie zum Beispiel der VC) zuviel Aussagekraft zuzumessen (63). Auf der anderen Seite versucht man durch die Einführung neuer, allerdings meist nur sehr kompliziert zu bestimmender Parameter die Früherkennung von Störungen der Lungenfunktion zu verbessern (25, 51). In diesem Zusammenhang wird auch immer wieder auf die relative Unmöglichkeit hingewiesen, mit den spirometrischen Standardtests beginnende Veränderungen der kleinen Luftwege ("small airways disease") zu erkennen (46). Freilich findet eine derart optimierte Diagnostik ihre Grenzen an dem erheblichen apparativen und personellen Aufwand, der dafür getrieben werden muß, so daß diese Untersuchungen in der Regel spezialisierten Zentren vorbehalten bleiben und nur wenige Patienten in den Genuß dieser Diagnostik kommen können.

Zudem ist der Informationswert mancher dieser Tests umstritten. So fand etwa Kuperman eine hohe Korrelation zwischen einem dieser Parameter (Maximum Midexpiratory Flow) und der Relativen Einsekundenkapazität ($FEV_{1,0}/FVC$) (45).

Desgleichen ergab eine Studie von Cooper, daß "neue" Lungenfunktionsgrößen wie etwa das sog. Closing Volume keineswegs immer zu einer Verbesserung der Diagnostik führen müssen. (13).

Gandevia kommt in diesem Zusammenhang zu dem Schluß, daß eine gute Versuchsplanung und die Zusammensetzung der untersuchten Bevölkerungsgruppe einen größeren Einfluß auf das Ergebnis haben als die apparative Ausstattung (30). Kriterien für einen guten Lungenfunktionstest sind hierbei vor allem auch Einfachheit, Akzeptabilität und gute Reproduzierbarkeit, Eigenschaften, die bei dem von uns gebrauchten elektronischen Spirometer in hohem Maße vorlagen. Darüberhinaus ist unbestritten, daß die klassischen Veränderungen der Lungenfunktion sich mit der Spirometrie allein ausreichend sicher darstellen lassen (28).

Zudem erscheint gerade bei chronischen Lungenerkrankungen die Longitudinalbeobachtung der Lungenfunktion am bedeutungsvollsten (47). Gerade hierbei geht es aber darum, eine möglichst einfache und praktikable Methode zu finden (58). Die Untersuchungen von Corey zeigen zum Beispiel, daß mit den einfachen spirometrischen Parametern (FVC, $FEV_{1,0}$, $FEV_{1,0}/FVC$) eine gute Verlaufskontrolle von Patienten mit Cystischer Fibrose möglich ist. Es gelang ihm durch diese Messungen der Lungenfunktion über mehrere Jahre hinweg, die Patienten in verschiedene Gruppen einzuteilen und damit mildere und ernstere Verlaufsformen zu unterscheiden (14).

Neben der Verlaufsbeobachtung sind spirometrische Untersuchungen wegen der Einfachheit ihrer Durchführung für viele differentialdiagnostische Fragen in der ärztlichen Praxis zu empfehlen (58). Mit Hilfe der Spirometrie ist zudem ein Screening von Lungenfunktionsstörungen für große Bevölkerungsgruppen durchführbar, womit eine wirksame Präventivmedizin, gerade auch im Kindesalter, betrieben werden kann.

4.8. Schlußbemerkung

Renovanz schrieb in seiner Veröffentlichung von 1958:

"Der wesentlichste Hinderungsgrund für die allgemeine Durchführung der Lungenfunktionsprüfung im Kindesalter ist aber u.E. das Fehlen von Normalwerten." (59)

Wenngleich seitdem viele neue Ergebnisse publiziert wurden, so gibt es doch in diesem Bereich nach wie vor einen Mangel an ausreichend fundierten und vergleichbaren Normwerten. Die Gründe dafür liegen in dem Aufwand, der betrieben werden muß, eine ausreichend große Zahl von Kindern zu untersuchen, im schnellen Fortschreiten der technischen Entwicklung (neue Geräte!) sowie in der damit verbundenen Möglichkeit, immer wieder neue (und zum Teil aussagekräftigere Parameter) zu bestimmen. Ebenso kommt hinzu, daß bei der Erstellung von Normwerten neben den Geschlechtsunterschieden (andere Normwerte für Mädchen und Buben) auch ethnische Unterschiede berücksichtigt werden müssen. Untersuchungen in den USA haben dies bestätigt (12, 6). Auch für den europäischen Raum gilt deshalb die Forderung, daß man wirklich vergleichbare Normalwerte nur nach Regionen getrennt aufstellen kann, will man Verfälschungen bei der Beurteilung vermeiden (8).

Ziel dieser Arbeit war es somit, einen Überblick über die Entwicklung der Lungenfunktion im Kindes- und Adoleszentenalter in unserem Raum zu bieten und damit eine entsprechende Grundlage für die Beurteilung von Störungen der Lungenfunktion in diesem Alter zu schaffen.

5. Zusammenfassung

Bei insgesamt 2110 Kindern und Jugendlichen aus München und Umgebung wurden Lungenfunktionsuntersuchungen mit dem elektronischen Spirometer M 403 durchgeführt.

Für alle gemessenen Lungenfunktionsgrößen, ausgenommen die Relativen Sekundenkapazitäten, ergaben sich enge bzw. sehr enge Korrelationen zu den Vergleichsparametern Größe, Alter und Gewicht. Die Auswertung der verschiedenen Korrelationskoeffizienten zeigte, daß die Körpergröße den besten einfachen Vergleichsmaßstab darstellt.

Als ein wesentliches Ergebnis der Untersuchungen stellte sich heraus, daß die Lungenfunktionswerte sich mit zunehmender Größe (Alter, Gewicht) nicht linear entwickeln, sondern daß es vor allem beim männlichen Geschlecht im beginnenden Pubertätsalter zu einem überproportionalen Anstieg der Werte kommt, der in bisherigen Publikationen kaum berücksichtigt wurde. Eine nach Geschlechtern getrennte Aufstellung von Normwerten ist dabei ebenso unverzichtbar wie eine ausreichend große Zahl von Untersuchten. Aus den Ergebnissen der gesunden Probanden wurde für die einzelnen Parameter Normkurven bzw. Normwerttabellen ermittelt. Um zusätzliche Informationen für die Abgrenzung von "normalen" u. "pathologischen" Werten zu liefern, wurden zudem noch jeweils die 10 %, 25 %, 75 % u. 90 % Perzentilen angegeben bzw. eingezeichnet.

Im zweiten Teil der Arbeit erfolgte ein Vergleich der Normwerte mit den Meßergebnissen, die bei kranken, besonders sportlichen und rauchenden Probanden ermittelt wurden.

Deutlich erkennbare Veränderungen der Lungenfunktion waren dabei nicht nur bei schwerwiegenden chronischen pulmonalen Erkrankungen (z.B. Mukoviszidose) festzustellen. Der Einfluß des Nikotinkonsums scheint zumindest bei starken Rauchern auch im jugendlichen Alter diskrete Veränderungen von Lungenfunktionsgrößen (Rel. Sekundenkapazität) zu bewirken.

Ausgeprägte sportliche Aktivität führt zum Teil zu erheblichen Steigerungen der Lungenfunktionswerte.

Anhand der gewonnenen Vergleichswerte wurde schließlich die Bedeutung der einzelnen gemessenen Parameter für die Diagnostik diskutiert. Dabei zeigte sich, daß auch mit einfachen spirometrischen Mitteln eine gute Lungenfunktionstestung betrieben werden kann. Abschließend wurde der Stellenwert der Spirometrie in der pulmonalen Diagnostik aufgezeigt und dabei vor allem auf ihre Bedeutung in der Präventivmedizin sowie in der Verlaufskontrolle bei chronischen Lungenerkrankungen hingewiesen.

Literaturverzeichnis

1. American Thoracic Society
ATS statement - Snowbird Workshop on standardization
of spirometry
Am. Rev. Resp. Dis. 119 ; 831 - 838, 1979
2. Anderhub, H.P. ; Keller, R. ; Herzog, H.
Spirometrische Untersuchungen der forcierten Vital-
kapazität, Sekundenkapazität und maximalen Atemstrom-
stärke bei 13 798 Personen
Dtsch. med. Wschr. 99 ; 33 - 38, 1974
3. Arvidsson, E. ; Dano, G.
Evaluation of the peak expiratory flow rate
Scand. J. clin. Lab. Invest. 32 ; 279 - 284, 1973
4. Eackhouse, C.I.
Peak expiratory flow in youths with varying
cigarette smoking habits
Britisch Medical Journal 1 ; 360 - 362, 1975
5. Betke, K. ; Lampert, F. ; Riegel, K.
Elementare Pädiatrie
2. Auflage Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1978
6. Binder, R.E., Mitchell C.A. ; Schoenberg, J.B. ;
Bouhuys A.
Lung function among black and white children
Am. Rev. Resp. Dis. 114 ; 955 - 959, 1976
7. Bjure, J.
Spirometric studies in normal subjects IV. Venti-
latory capacity in healthy children 7-17 years of age
Acta Paediatrica 52 ; 232 - 240, 1963

8. Brantschen, W. ; Gysi, T. ; Scherrer M.
Sollwerte der Vitalkapazität für Jugendliche im
Entwicklungsalter
Schweiz. med. Wschr. 104 ; 540 - 545, 1974
9. Bräutigam, W. ; Christian, P.
Psychosomatische Medizin
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1975, 2. Auflage
10. Brooks, A.G.F. ; Waller, R.E.
Peak flow measurements among visitors to a public
health exhibition
Thorax, 27 ; 557 - 562, 1972
11. Bühlmann, A.A. ; Scherrer, M.
Neue Normalwerte für die Vital- und Totalkapazität
der Lungen
Schweiz. med. Wschr. 103 ; 660 - 668, 1973
12. Chehreh, M.N. ; Young, R.C. ; Viaene, H. ; Ross, C.W. ;
Scott, R.B. ;
Spirometric standards for healthy inner-city black
children
Am. J. Dis. Child. 126 ; 159 - 163, 1973
13. Cooper, D.M. ; Doron, I. ; Mansell, A.L. ; Bryan, A.C. ;
Levison, H:
The relative sensitivity of closing volume in children
with asthma and cystic fibrosis
Am. Rev. Resp. Dis. 109 ; 519 - 524, 1974
14. Corey, M. ; Levison, H. ; Crozier, D.
Five - to seven-years course of pulmonary function
Am. Rev. Resp. Dis. 114 ; 1085 - 1092, 1976

15. Cox, P. ; Miller, L. ; Petty, T.L.
Clinical evaluation of a new electronic spirometer
Chest, 63 ; 517 - 519, 1973
16. Dickman M.L., Schmidt C.D., Gardner R.M.
Spirometric standards for normal children and
adolescents (ages 5 years through 18 years)
America Review of Respiratory Disease, 104 ;
680 - 687, 1971
17. Doll, E.
Methoden der Lungenfunktionsanalyse in der Klinik
Med. Klinik 68 ; 229 - 236, 1973
18. A.E. Dugdale, Moeri M.
Normal values of forced vital capacity (FVC), forced
expiratory volume ($FEV_{1,0}$), and peak flow rate (PFR)
in children
Arch. Dis. Childh., 43 ; 229 - 234, 1968
19. Düggelein St., Bühlmann A.A.
Lungenvolumina und Atemwegswiderstände bei gesunden
Zürcher Schulkindern - Normalwerte
Helv. paediat. Acta 35 ; 21 - 30, 1980
20. Engström, I. ; Escardo, F.E. ; Karlberg, P. ;
Kraepelin, S. ;
Respiratory studies in children VI. Timed vital
capacity in healthy children and in symptom-free
asthmatic children
Acta Paediatrica 48 ; 114 - 120, 1959
21. Engström, I. ; Karlberg, P. ; Kraepelin S.
Respiratory studies in children I. Lung volumes in
healthy children 6-14 years of age
Acta Paediatrica 46 ; 277 - 294, 1956

22. Engström, I. ; Karlberg, P. ; Kraepelin, S. ; Wengler, G.
Respiratory studies in children V. Maximal breathing
capacity in healthy and in symptom-free asthmatic
children 7-14 years of age
Acta Paediatrica 47 ; 560 - 567, 1958
23. Fabel, H. ; Hamm, J.
Vergleichende spiographische und pneumometrische
Messungen des Expiratorischen Atemstoßes
Dtsch. med. Wschr. 87 ; 2361 - 2365, 1962
24. Feer / Joppich, G. ; Schulte, F.J. (Hrsg.)
Lehrbuch der Kinderheilkunde
24. Auflage Gustav Fischer Verlag, Stuttgart 1980
25. Ferris, B.G. ;
Use of pulmonary function tests in epidemiologic
surveys
Bull. Physio-path. resp. 6 ; 579 - 594, 1970
26. Ferris, B.G. ; Smith, C.W.
Maximum breathing capacity and vital capacity in
female children and adolescents
Pediatrics 12 ; 341 - 352, 1953
27. Ferris, B.G. ; Whittenberger, J.L. ; Gallagher, J.R.
Maximum breathing capacity and vital capacity of male
children and adolescents
Pediatrics 9 ; 659 - 669, 1952
28. Filip, K.B.
Pneumologische Diagnostik kommt voran
Selecta 44 ; 3832 - 3839, 1980

29. Friolet, B.
Der heutige Stand der Erkennung und Behandlung der
Cystischen Fibrose (Mukoviszidose)
Therapeutische Umschau 31 ; 578 - 584, 1974
30. Gandevia, B.
Assessment of lung function in occupational surveys
Bull. Physio-path. resp. 6 ; 537 - 560, 1970
31. Ganong, W.F.
Lehrbuch der Medizinischen Physiologie
3. Auflage, Springer Verlag, Berlin 1974
32. Goldring, R.M. ; Fishman, A.P. ; Turino, G.M.
Pulmonary hypertension in cystic fibrosis
The Journal of Pediatrics 65 ; 501 - 524, 1964
33. Gregg, I. ; Nunn, A.J.
Peak expiratory flow in normal subjects
British Medical Journal 3 ; 282 - 284, 1973
34. Gross, R. ; Schölmerich, P. (Hrsg.)
Lehrbuch der Inneren Medizin
5. Auflage F.K. Schattauer Verlag, Stuttgart-New York 1977
35. Harnack, G.A. (Hrsg.)
Kinderheilkunde
4. Auflage Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York
1977
36. Hegglin / Siegenthaler, W. (Hrsg.)
Differentialdiagnose innerer Krankheiten
13. Auflage Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1975
37. Hertz, C.W.
Ein gleitender Standard für den Atemgrenzwert
Deutsches Archiv für klinische Medizin 205 ;
602 - 610 , 1959

38. Higgins, M.W. ; Keller, J.B.
Seven measures of ventilatory lung function
Am. Rev. Resp. Dis. 108 ; 258 - 272, 1973
39. Hötter, G.J.
Normwerte von Vitalkapazität und Atemgrenzwert bei
Kindern und Jugendlichen
Mschr. Kinderheilk. 120 ; 165 - 171, 1972
40. Hsu K.H.K., Jenkins D.E., Hsi B.P., Bourhofer E.,
Thompson V., Tanakawa N., Hsieh G.S.J.
Ventilatory functions of normal children and young
adults-Mexican-American, white, and black. I. Spirometry
The Journal of Pediatrics 95 ; 14 - 23, 1979
41. Hsu, K.H.K.; Jenkins, D.E. ; Hsi, B.P. ; Bourhofer, E. ;
Thompson, V. ; Hsu, F.C.F. ; Jacob, S.C.
Ventilatory Functions of normal children and young
adults-Mexican-American, white, and black
II. Wright peak flowmeter
The Journal of Pediatrics 95 ; 192 - 196, 1979
42. Pädiat. Fortbild. K. Praxis vol 48, pp 7 - 29,
(Karger/Basel 1979)
43. Krumholz, R.A. ; Hedrick, E.C.
Pulmonary function differences in normal smoking and
nonsmoking, middle-aged, white-collar workers
Am. Rev. Resp. Dis. 107 ; 225 - 230, 1973
44. Kühner L.
Lungenfunktionsdiagnostik in der Praxis
Prax. Pneumol. 21 ; 746 - 762, 1967
45. Kuperman, A.S. ; Riker, J.B.
The predicted normal midexpiratory flow
Am. Rev. Resp. Dis. 107 ; 231 - 238, 1973

46. Lapp, N.L. ; Hyatt, R.E.
Evaluation of lung mechanics in epidemiologic studies
Bull. Physio-path. resp. 6 ; 595 - 604, 1970
47. Lemen, R.J.
Pulmonary function testing in the office and clinic
In: Kendig, E. (Editor)
Disorders of the respiratory tract in children
Philadelphia-London-Toronto 1977, pp 166 - 176
48. Levison, H. ; Godfrey, S.
Pulmonary Aspects of Cystic Fibrosis
In: Mengos, J. ; Talamo, R. (Eds.)
Projections into the future
New York, Statton Intercontinental Medical Book
Corp., 1976 ; pp 3 - 24
49. Lim, I.P.K.
Airway obstruction among high school students
Am. Rev. Resp. Dis. 108 ; 985 - 988, 1973
50. Lyons, H.A. ; Tanner, R.W. ; Picco, I.
Pulmonary function studies in children
Pediatrics 100 ; 66 - 77, 1960
51. Martin R.R.
The early detection of airway obstruction
Am. Rev. Resp. Dis. 111 ; 119 - 125 (1975)
52. Miller, W.F. ; Johnson, R.L. ; Wu, N.
The half-second expiratory capacity test: A convenient
means of evaluating the nature and extent of pulmonary
ventilatory insufficiency
Diseases of Chest 30 ; 33 - 42, 1956
53. Morris, J.F. ; Temple, W.P. ; Koski, A.
Normal values for the ratio of one-second forced
expiratory volume to forced vital capacity
Am. Rev. resp. Dis. 108 ; 1000 - 1003, 1973

54. von Neding, G. ; Löllgen, H. ; Krekeler, H. ;
Smidt, U.
Klinisch-experimentelle Untersuchungen zur Lungen-
funktionsprüfung mit einem Thermistor als Atemstrom-
rezeptor
Pneumologie 150 ; 19 - 27, 1974
55. Nolte, D.
Die Lungenfunktionsprüfungen
Medizinische Monatsschrift, 25 ; 146 - 152, 1971
56. Polgar, G. ; Promadhat, V.
Pulmonary function testing in children, techniques
and standards
W.B. Saunders Company, Philadelphia 1971
57. Polgar, G. ; Weng, T.R.
The functional development of the respiratory system
Am. Rev. Resp. Dis. 120 ; 625 - 695, 1979
58. Reichel, G.
Empfehlungen für die Durchführung von Lungenfunktions-
prüfungen zur Beurteilung des bronchopulmonalen Systems
in Klinik und Praxis
Dtsch. med. Wschr. 97 ; 1665 - 1668, 1972
59. Renovanz, H.D.
Spirographische Untersuchungen zur Lungenfunktion bei
Kindern und Jugendlichen
Zeitschrift für Kinderheilkunde 81 ; 494 - 502, 1958
60. Sachs, L.
Angewandte Statistik. Planung und Auswertung
Springer Verlag 4. Auflage Berlin-Heidelberg-New York
1974

61. Sandoz Medizintechnik
Lungenfunktionsanalysator Sandoz M 403
(wissenschaftlicher Prospekt)

62. Schlesinger, Z. ; Goldbourt, U. ; Medalie, J.A. ;
Oron, D. ; Neufeld, H.N. ; Riss, E.
Pulmonary ventilatory function values for healthy
men aged 45 years and over
Chest 63 ; 520 - 524, 1973

63. Schmidt, G.P. ; Günthner, W.
Die Vitalkapazität - ihre Bedeutung für die Beurteilung
der Lungenfunktion
Medizinische Klinik 7 ; 250 - 253, 1959

64. Tanner, J.M. ; Whitehouse, R.H.
Clinical longitudinal standards for height, weight,
height velocity, weight velocity and stages of puberty
Arch. Dis. Childh. 51 ; 170 - 179, 1976

65. Taussig, L.M. ; Chernick, V ; Wood, R. ; Rarell, P. ;
Mellins, R.B.
Standardization of lung function testing in children
The Journal of Pediatrics 97 ; 668 - 676, 1980

66. Thiemann H.-H.
Normwerte der Lungenfunktionsdiagnostik im Kindesalter
Erkrank. Atm.-Org. 145 ; 249 - 257, 1976

67. Turner, J.A. ; McLean R.L.
Spirometric measurements of lung function in healthy
children
Pediatrics 7 : 360 - 371, 1951

68. Überla, K. (Hrsg.)
Biomathematik
Institut für Medizinische Informationsverarbeitung,
Statistik und Biomathematik der Universität München
1976

69. Ulmer, W.T. ; Reichel, G. ; Nolte, D.
Die Lungenfunktion. Physiologie und Pathophysiologie.
Methodik
G. Thieme Verlag, Stuttgart 1970
70. Wanner, A.
Small airway disease
Schweiz. med. Wschr. 105 ; 635 - 638, 1975
71. Webster, I.W. ; Logie, A.R.
The sensitivity of spirometry to the symptoms of
respiratory disease
Respiration 30 ; 517 - 526, 1973

Lebenslauf

Am 21. Juni 1956 wurde ich als Sohn des Lehrers Kurt Heilmaier und seiner Frau Maria, geb. Maier, in Landshut geboren.

Die Volksschule besuchte ich von 1962 - 1966 in Inning am Holz, von 1966 an war ich Schüler am Gymnasium Erding, das ich 1975 mit dem Abitur abschloß.

1975 begann ich das Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität in München, wo ich nach dem dritten Teil der Ärztlichen Prüfung am 08.12.1981 die Approbation als Arzt erhielt.

Von April 1982 bis Juni 1983 war ich als grundwehrdienstleistender Stabsarzt in Munster bzw. in München tätig.

Seit dem 01.07.1983 arbeite ich als Assistenzarzt im Kreiskrankenhaus Moosburg (chirurgische Abteilung.)

